

فيزياء أعضاء البشر

مكتبة اقرأ الثقافي
www.iqra.ablamontada.com

د / محمد محمد الزيدية



الدار العربية للنشر والتوزيع

لتحميل انواع الكتب راجع: (مُنْتَدَى إِقْرَأَ الثَّقَافِي)

پراي داتلود کتابهای مختلف مراجعه: (مُنْتَدَى اقرا الثقافی)

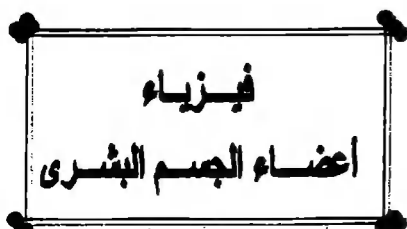
بۆدابه زانندنی چۆره ها کتیب: سهردانی: (مُنْتَدَى إِقْرَأَ الثَّقَافِي)

www.iqra.ahlamontada.com



www.iqra.ahlamontada.com

للكتيب (كوردی , عربي , فارسي)



فيزياء

أعضاء الجسم البشري

فيزياء أعضاء الجسم البشري

تأليف

دكتور/ محمد محمد الزيدية

أستاذ الحالة الصلبة

كلية العلوم جامعة المنوفية

عميد كلية العلوم جامعة المنوفية سابقا

الطبعة الأولى

2009



الدار العربية للنشر والتوزيع

حقوق النشر

اسم الكتاب : فيزياء أعضاء الجسم البشري
اسم المؤلف : أ.د / محمد محمد الزيدية
رقم الإيداع : ٢٠٠٩ / ١٣٣٨٥
الترقيم الدولي : ٢ - ٣٧١ - ٢٥٨ - ٩٧٧
الطبعة الأولى : 2009

حقوق النشر محفوظة
للداء العربية للنشر والتوزيع
32 شارع عباس العقاد - مدينة نصر
جمهورية مصر العربية - القاهرة

تليفون : 22753335
فاكى : 22753388

لا يجوز نشر أى جزء من هذا الكتاب، أو اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو نقلة على أى وجه، أو بأى طريقة، سواء أكانت إلكترونية، أو ميكانيكية، أو بالتصوير، أو بالتسجيل، أو بخلاف ذلك إلا بموافقة الناشر على هذا كتابة ومقماً.

الإهداء

• إلى روح والدي

• وإلى طلاب العلم

• وإلى أبنائي

• وإلى أبناء بلدي

• وإلى المتخصصون وإلى الهواة

أهدي محتوى هذا الكتاب لعل الله ينفع به من أرادته.

مقدمة الناشر

يتزايد الاهتمام باللغة العربية في بلادنا يوماً بعد يوم. ولا شك أنه في الغد القريب ستستعيد اللغة العربية هيبتها التي طالما امتهنت واذلت من أبنائها وغير ابنائها. ولا ريب في أن امتهان لغة أية أمة من الأمم هو إذلال ثقافي فكري للأمة نفسها، الأمر الذي يتطلب تضافر جهود أبناء الأمة رجالاً ونساءً طلاباً وطالبات، علماء ومتقنين مفكرين وسياسيين في سبيل جعل لغة العروبة تحتل مكانتها اللانقة التي اعترف المجتمع الدولي بها لغة عمل في منظمة الأمم المتحدة ومؤسساتها في أنحاء العالم لأنها لغة أمة ذات حضارة عريقة استوعبت - فيما مضى - علوم الأمم الأخرى وصهرتها في بوتقتها اللغوية والفكرية، فكانت لغة العلوم والأدب، ولغة الفكر والكتابة والمخاطبة.

إن الفضل في التقدم العلمي الذي تتعم به أوروبا اليوم يرجع في واقعه إلى الصحوه العلمية في الترجمة التي عاشتها في القرون الوسطى. فقد كانت المرجع الوحيد للعلوم الطبية والعلمية والاجتماعية هو الكتب المترجمة عن اللغة العربية لابن سينا وابن الهيثم والفارابي وابن خلدون وغيرهم من عمالقة العرب، ولم ينكر الأوروبيون ذلك، بل يسجل تاريخهم ما ترجموه عن حضارة الفراعنة والعرب والإغريق، وهذا يشهد بأن اللغة العربية كانت مطوعة للعلوم والتدريس والتأليف، وأنها قادرة على التعبير عن متطلبات الحياة وما يستجد من علوم، وأن غيرها ليس بأدق منها، ولا أقدر على التعبير.

ولكن ما أصاب الأمة من مصائب وجمود بدأ مع نهاية عصر الوجود التركي، ثم الاستعمار البريطاني والفرنسي مما عاق اللغة عن النمو والتطور، وأبعدها عن العلم والحضارة ولكن عندما أحس العرب بأن حياتهم لا بد من أن تتغير، وأن جمودهم لا بد أن تدب فيه الحياة، اندفع الرواد من اللغويين والأدباء والعلماء نحو إنماء اللغة وتطويرها حتى أن مدرسة قصر العيني في القاهرة، والجامعة الأمريكية في بيروت

درستا الطب بالعربية أول إنشائها. ولو تصفحنا الكتب التى ألفت أو تُرجمت يوم كان الطب يدرس فيها باللغة العربية لوجدناها كتباً ممتازة لا تقل جودة عن مثيلاتها من كتب الغرب فى ذلك الحين، سواء فى الطبع، أو حسن التعبير، أو براعة الإيضاح، ولكن هذين المعهدين تنكرا للغة العربية فيما بعد، وسادت لغة المستعمر. وفُرضت على أبناء الأمة فرضاً، إذ رأى المستعمر أن فى خنق اللغة العربية مجالاً لعرقلة الأمة العربية.

وبالرغم من المقاومة العنيفة التى قابلها، إلا أنه كان بين المواطنين صنائع سبقوا الأجنبى فيما يتطلع إليه، فتفننوا فى أساليب التملق له اكتساباً لمرضاته، ورجال تأثروا بحملات المستعمر الظالمة، يشككون فى قدرة اللغة على استيعاب الحضارة الجديدة، وغاب عنهم ما قاله الحاكم الفرنسى لجيشه الزاحف إلى الجزائر: "علموا لغتنا وانشروها حتى نحكم الجزائر، فإذا حكمت لغتنا الجزائر، فقد حكمناها حقيقة".

فهل لى أن أوجه نداءً إلى جميع حكومات الدول العربية بأن تبادر - فى أسرع وقت ممكن - إلى اتخاذ التدابير، والوسائل الكفيلة باستعمال اللغة العربية لغة تدريس فى جميع مراحل التعليم العام والمهنى والجامعى، مع العناية الكافية باللغات الأجنبية فى مختلف مراحل التعليم لتكون وسيلة الإطلاع على تطور العلم والثقافة والانفتاح على العالم. وكلنا ثقة فى إيمان العلماء والأساتذة بالتعريب، نظراً لأن استعمال اللغة القومية فى التدريس ييسر على الطالب سرعة الفهم دون عائق لغوى وبذلك تزداد حصيلته الدراسية، ويرتفع بمستواه العلمى، وذلك يعتبر تأصيلاً للفكر العلمى فى البلاد، وتمكيناً للغة القومية من الازدهار والقيام بدورها فى التعبير عن حاجات المجتمع، وألفاظ ومصطلحات الحضارة والعلوم.

ولا يغيب عن حكوماتنا العربية أن حركة التعريب تسير متباطئة، أو تكاد تتوقف بل تحارب أحياناً ممن يشغلون بعض الوظائف القيادية فى سلك التعليم والجامعات ممن ترك الاستعمار فى نفوسهم عقداً وأمراضاً، رغم أنهم يعلمون أن جامعات إسرائيل قد ترجمت العلوم التطبيقية الحديثة إلى اللغة العبرية وعدد من يتخاطب بها فى العالم لا يزيد عن خمسة عشر مليون يهودياً، كما أنه من خلال زيارتى لبعض الدول واطلاعى

على مناهجها الدراسية وجدت كل أمة من الأمم تدرس بلغتها القومية مختلف فروع العلوم والآدب والتقنية كاليابان، وإسبانيا، وألمانيا، ودول أمريكا اللاتينية، ولم تشكل أمة من هذه الأمم فى قدرة لغتها على تغطية العلوم الحديثة، فهل أمة العرب أقل شأنًا من غيرها؟!.

وأخيراً .. وتماشياً مع أهداف الدار العربية للنشر والتوزيع، وتحقيقاً لأغراضها فى تدعيم الإنتاج العلمى باللغة العربية، وتشجيع العلماء والباحثين فى إعادة مناهج التفكير العلمى وطرائقه إلى رحاب لغتنا الشريفة تقوم الدار بنشر هذا الكتاب المتميز الذى يعتبر واحداً من ضمن ما نشرته - وستقوم بنشره - الدار من الكتب العربية التى قام بتأليفها أو ترجمتها نخبة ممتازة من أساتذة الجامعات المصرية والعربية المختلفة.

وبهذا ... ننفذ عهداً قطعناه على الماضى قدماً فيما أردناه من خدمة لغة الوحي وفيما أراده الله تعالى لنا من جهاد فيها.

وقد صدق الله العظيم حينما قال فى كتابة الكريم ﴿ وَقُلْ اَعْمَلُوا فَسَيَرَى اللّٰهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ اِلَىٰ عَالِمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُمْ بِمَا كُنْتُمْ تَعْمَلُونَ (106) ﴾ " سورة التوبة "

محمد أحمد درباله
الدار العربية للنشر والتوزيع

المحتويات

13	.....	مقدمة
	الباب الأول	
17	.....	الحاسب فى خدمة الطب
	الباب الثانى	
27	.....	فيزياء العلاج بالإشعاع
	الباب الثالث	
41	.....	فيزياء الطب النووى
	الباب الرابع	
67	.....	الوقاية من الإشعاع
	الباب الخامس	
81	.....	فيزياء الأشعة السينية العلاجية
	الباب السادس	
97	.....	الضوء فى الطب
	الباب السابع	
109	.....	فيزياء العين والرؤية
	الباب الثامن	
129	.....	الموجات الصوتية فى الطب
	الباب التاسع	
143	.....	فيزياء الأذن والسمع
	الباب العاشر	
155	.....	فيزياء الجهاز الدورى
	الباب الحادى عشر	
179	.....	فيزياء التنفس

الموضوع	الصفحة
الباب الثانى عشر	
فيزياء الضغط فى الجسم.....	201
الباب الثالث عشر	
الكهرباء فى الجسم.....	215
الباب الرابع عشر	
تطبيقات الكهربائية على الجسم.....	243
الباب الخامس عشر	
تطبيقات التسخين والتبريد فى الطب.....	259
الباب السادس عشر	
حساب الطاقة والشغل والقدرة فى الجسم.....	271
الباب السابع عشر	
فيزياء العظام.....	295
المراجع.....	309

مقدمة

الحمد لله على نعمة العلم والحمد لله على توفيقه للعمل بها والصلاة والسلام على رسوله سيد العلماء وسيد العاملين بالعلم.... وبعد.

لاشك أن العلم في قمته واحد وأن تتداخل العلوم وتشابكها في المستويات الأقل أمر طبيعي حيث أن استقلال فروع العلم بعضها عن بعض إدعاء لم يحدث وإذا حدث لن ينجح وكيف يحدث ذلك والترابط والتشابك صفة كل شئ في كل عصر وفي كل آن- وإذا جاز ذلك فيما سبق فكيف يجوز ذلك اليوم والعالم كله جزيرة واحدة مصالحها واحدة وأمانيه واحدة ولا يحقق هذه الأمانى إلا علم شامل كامل- لذلك فإن العلوم البينية هي أطراف التشابك والترابط بين علم وآخر- والفيزياء أم العلوم وملكمة العلوم Queen of sciences تقوم على خدمتها وتقدم لها أسباب التطور والرقى- فالربط بين الفيزياء والكيمياء هي الكيمياء الفيزيائية، والربط بين الفيزياء والرياضيات هي الفيزياء الرياضية والربط بين الفيزياء والعلوم الحيوية هي الفيزياء الحيوية والربط بين الفيزياء والعلوم الطبية هي الفيزياء الطبية. وهذه الأخيرة تقدم خدمة لكل تخصصات الطب لتكون في خدمة أجهزة وأعضاء الجسم الأنساني.

فقد قدمت الفيزياء الطبية ما يزيل ألم المريض ويشفيهم من الأمراض الخبيثة عن طريق إكتشاف الاشعاع والمواد المشعة ووظيفة الاشعاع فى الاستخدام الطبي للتشخيص والعلاج والتدخل الجراحي إذا لزم للتخلص من الأورام الخبيثة. وقدمت كثيراً من الخدمات للطب النووي- كما قدمت للتشخيص بالموجات فوق الصوتية والسونار والموجات السينية مما ساعد على حل مشاكل الأحشاء الداخلية للجسم وما ساعد على شفاء العظام والتئام كسورها ويسر الوقوف على أنسب وأدق طرق علاجها.

كما قدمت الفيزياء الطبية أهم مساعدات الأبصار بالضوء المرئى فى الميكروسكوب والميكروسكوب الألكترونية والمناظير الطبية لحسن تشخيص وعلاج أمراض معظم أعضاء الجسم وسخرت أشعة الليزر للتشخيص والعلاج من جانب ومن جانب آخر يسرت العلاج بالضوء الغير مرئى بإستخدام الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية. ودور الفيزياء الطبية فى توظيف الكهرباء لخدمة أمراض القلب والمخ لاينسى فبدونها لم يكن رسم مخططات القلب والمخ والعين والعضلات أمر ممكن- والتطبيقات الكهربائية لمساعدة مرضى القلب من حيث العلاج والتقويم وأستخدام أدورات التوصيل والعزل وعلاج الذبحات الصدرية والقلبية أمر لا ينكره أحد- كما أن المخططات الحرارية للجسم أمر كثير الأستخدام لتقادي الآثار الضارة لمرضى السكر- وما قدمته الفيزياء الطبية فى العلاج بالتسخين والتبريد كان له الأثر الفعال فى شفاء أمراض الروماتزم والشلل الرعاش وإجراء العمليات الجراحية عند درجات الحرارة المنخفضة- وقد ساعدت وسائل التبريد فى استحداث طرق لحفظ الدم لمدد طويلة.

وقد يسرت الفيزياء الطبية فهم كثير من العمليات التى تحدث فى الجسم البشرى فهي التى كشفت القناع عن التبادل الأيونى بين الصوديوم والبوتاسيوم فى عضلة القلب والخلية الحية حتى يعطي القلب نبضاته وتسري فى الجسم حياته- كما أوضحت الفيزياء الطبية دور التيار الكهربى فى نمو الجسم الانسانى ونمو عظامه- وللفيزياء الطبية الدور الأعظم فى فهم الإشارات الكهربائية التى تحملها الأعصاب من وإلى المخ ليرى الإنسان ويسمع ويتحرك ويعمل فى مواقع الإنتاج ويؤدي خدماته.

لكل ما أسلفناه رأينا أن علينا واجباً نقدمه لأبنائنا وأمتنا فى تأليف كتاب عن الفيزياء الطبية حتى تكون المعلومات مجمعة فى خدمة الطب وطلابه وأطباءه فى مرجع واحد يسهل الرجوع إليه فى المكتبة العربية ورأينا أن يكون باللغة العربية ليكون محتواه قريب المنال لكل طالب وصاحب حاجة. وحاولنا أن يكون كاملاً أو قريب من الكمال إلا أن الكمال لله وحده فمن وجد ضالته فى هذا الكتاب فليشكر الله على توفيقه لنا لخدمته- ومن لم يجدها فليدعو الله لنا بالعون إذا ما حاولنا فى طبعة أخرى من هذا الكتاب لتكون مزيدة وأكثر فائدة،،،

(المؤلف)

محمدر الزيرية

الباب الأول

الحاسب في خدمة الطب

The computer in medicine

الباب الأول

الحاسب فى خدمة الطب

The computer in medicine

مقدمة:

The computer is two جزأ الحاسب إلى جزئين إثنين متكاملين
:integrated parts

1. جهاز الحاسب نفسه وملحقاته The hardware

أي الأجزاء والدوائر الإلكترونية وذاكرة التخزين وجميع ملحقات الحاسب.

2. البرامج المقدمة The software

وهذه البرامج تكتب بواسطة المبرمجين باللغات التى يتعامل بها الحاسب. ولكل برنامج هدف نهائي يجب أن يتحقق وفى هذا يتنافس المبرمجين أيهما يحقق الهدف بأدق برنامج بأقل تكلفة وفى أقصر وقت لكل ما يتقدم به جهاز الحاسب (in put) وكل ما يسفر عنه عمل الحاسب ويطلق إسم المخرجات (out put).

وتكون المدخلات من خالا لوحة المفاتيح (key board) أو من خلال ما يسمى بالفأرة (mouse). والمخرجات عادة تكون مطبوعات سواء على الشاشة أو على الورق، وهناك حواسيب شخصية ((personal computers (PC)- وحواسيب جماعية كبيرة (Time – shared computers)- وفى بعض الحالات تترابط

الحواسيب الشخصية لتكون حواسيب جماعية تحقق هدف للمشاركين. والآلات الحاسبة البسيطة من ذلك الحواسيب التي تؤدي غرض معين.

وبعض الحواسيب تتعامل بالأعداد (numbers) وتسمى بالحواسيب الرقمية (Digital computers) وبعضها يتعامل بالنبضات الكهربائية التي تعتمد على الجهد أو التيار وتسمى الحواسيب التماثلية (Analog computers) - وفيه تتحول النبضات الكهربائية إلى أرقام في عملية تبدأ بتقييم المعلومات (Digitizing data) وتسمى الدوائر التي تقوم بذلك (ADC) Analog to digital converter.

والحاسب عموماً هو آلة قادرة على عمل عمليات رياضية متتابعة بناء على ما يقدم لها من معلومات في إطار البرنامج الموضوع. وذلك في زمن صغير جداً وبسرعة عالية جداً.

وفي مجال الطب فإن المعالج يجمع ويخزن ويستعيد معلومات عن مرضاه. وبذلك يظل التاريخ المرضي للمريض حاضر لدى الطبيب ومساعد له في اتخاذ قرارات التشخيص.

معطيات تاريخية: History taking

من أهم ما يعين على التشخيص هو معرفة التاريخ المرضي للمريض. ولا يستطيع أحد أن يعالج أو يتخذ قرار علاج قبل أن يعرف متى بدأت الحالة وهل هي متكررة ومتي يبدأ الألم ومتي يسكن، ويساعد على ذلك معرفة التاريخ المرضي للمريض والأسرة والأجداد وعلاقته بمن حوله وعلاقته بجميع العوامل البيئية. وتودع كل هذه المعلومات في ذاكرة الحاسب في ملف يحمل اسم المريض ورؤمته وجميع بياناته الشخصية الأمر الذي يمكن الطبيب من استدعاء هذه المعلومات لنفس المريض كلما لزم.

كما أنه وجد من المفيد أن تعمل جلسة جمع المعلومات هذه بين المريض والحاسب مباشرة دون وجود الطبيب الأمر الذي يزيل الحرج كثيراً عن المريض. ويكون الحوار كامل وشامل حول التاريخ المرضي للمريض وأسرته الحاضرة والغابرة والأمراض الوراثية والجسدية والآثار البيئية وكل ما يفيد في التشخيص دون إفراط ولا تفريط فيستفيد المريض ولا يضيع وقت الطبيب ويؤتي قرار التشخيص أدق الثمار.

معامل آلية Laboratory automation

الأجهزة الحديثة في التحاليل الطبية وعمل المزارع الطبية المساعدة على التشخيص زادت وفاض نتاجها إلى حد كبير - فقد استخدمت عينة الدم الواحد للحصول على العديد من التحاليل لخدمة أكثر من غرض وكذلك الأمر في المزارع الحيوية وهذا أدى إلى تنوع في نتائج المريض الواحد والحاسب يسهل قضية جمع هذه النتائج وتخزينها في ملف المريض ذاته تحت اسمه ورقمه (ويفضل أن يكون الرقم القومي) - وما على الطبيب إلا أن يستدعي ذلك الملف للإطلاع على ما فيه للمساعدة في التشخيص.

قراءة وتفسير مخطط القلب الكهربائي

Electro Cardio Gram (ECG) interpretation

مخطط القلب الكهربائي هو تسجيل انقباض عضلة القلب وانبساطها آلياً وذلك بتوصيل أقطاب الجهاز المستخدم في مواضع معينة على صدر المريض. وهو يعطي معلومات عن تركيب القلب والتغير الحادث في كهربية القلب - وقراءة هذا المخطط يستطيع المعالج أن يضع يده على نقاط الضعف أو القصور أن وجدت عند مريض القلب مثل عيوب التوصيل الكهربائي، النبضات الغير العادية مثل عدم إنتظام ضربات القلب أو عدم أنساقها (Arrhythmia). وقراءة وتفسير هذا المخطط لها قواعد محددة

وأطباء القلب يعرفون هذه القواعد بشكل جيد. إلا أن قراءة وتفسير هذه المخططات فى وقت قصير أمر صعب.

وجاء الحاسب ليحل هذه المشكلة بشكل جذري حيث تم تصميم برامج خاصة لتفسير (ECG) آخذين فى الاعتبار كل القواعد والضوابط المساعدة على ذلك - حيث تأخذ البرامج النبضات الكهربائية من جهاز التخطيط (ECG) مباشرة ثم تحولها إلى أرقام (Digital's) وتحدد كل ما هو غير عادى بالمقارنة بالنتائج الطبيعية والعادية. وهذه البرامج تحدد وتقيس محددات وعوامل كثيرة من على (ECG) مثل شكل الموجة الكهربائية (wave form) والزمن اللازم من قمة موجبة إلى قمة موجبة أخرى (peak - to - peak timeinterval) وكل هذه التحاليل والمعلومات تكتب على الورقة المسجلة عليها بواسطة (ECG) وتضاف إلى ملف المريض تحت اسمه ورقمه فى زمن قصير جداً وقد وجد أن ما يقوم به الحاسب من تفسير مناسب جداً من حيث السرعة والدقة وبذلك يتم خدمة المريض بدقة وبسرعة فى ضوء قرار المعالج.

مراقبة حالات المريض Patient monitoring:

من المرغوب فيه فى بعض الحالات متابعة حالات المرضى من فترة إلى أخرى وذلك بتسجيل بعض المتغيرات فى ضغط ودرجة الحرارة، مخطط القلب إلى غيرها من المتغيرات الممكنة عند بعض المرضى - وخصوصاً فى وحدات العناية المكثفة (ICU) ورعاية الحالات الحرجة التى يرغب الطبيب أن يعرفها عن مريضه. وكل تغير يحدث فى حالته. وهكذا يتم بمراقبة الشاشة الموصلة بالأجهزة لحالات المرضى إلا أن التعب والإعياء لهيئة التمريض قد يجعل المتابعة صعبة وغير فعالة - لذلك استخدمت الحواسيب التى تعطي إشارات لهيئة التمريض عن كل تغير حرج يحدث لحالة ما وينبه إلى سرعة الاتصال بها وقد إخذ فى الاعتبار الآثار التى قد تنشأ من هزات مصادر الكهرباء حتى لا تكون سبباً فى الإزعاج.

إختبار تفاعل الجرعات drug – test interaction:

كثيراً ما يقرر لمريض ما جرعات من أدوية مختلفة تؤخذ في نفس الوقت وقد يحدث أن تتفاعل هذه الجرعات مع بعضها لتعطي أثر غير مفيد وقد يكون ضار- لذلك تقوم المعامل بعمل ما يسمى بتفاعل الجرعات مع بعضها البعض (Drug- Drug interaction) وتدوين النتائج- كما أن هذا قد يمكن إستنتاجه من من حالة المريض- وسواء كان الناتج السلبي من المريض أو من المعمل فإن النتائج تجمع وتخزن في الحاسب تحت رقم ملف المريض وأسمه من جانب وتضاف إلى ملف التفاعلات بين الجرعات بإعتباره ملف عام.

وفي حالة اتخاذ الطبيب قرار لنوع الدواء وجرعاته يستدعي ملف المريض ليري أن كان لهذه الجرعات نتائج غير إيجابية أم لا، ثم يستدعي الملف العام ليري الأثر الجاني لهذه الجرعات أن وجد- كما أنه أثناء متابعة المريض عليه أن يسجل جميع الملاحظات عن المريض وتأثير الجرعات قد يضيف شيئاً إلى ملف الجرعات العام بالطرق المشروعة.

وقد قامت الأبحاث العلمية بعمل ملف لوصف الجرعات الدوائية لكل دواء (Prescribing Drug Dosage) لتسجل عليه جميع الآثار الجانبية أن وجدت- وأن كان لهذه الجرعات آثار إيجابية لأكثر من مرض وعلى الطبيب الذي يلجأ لهذا الملف من على الحاسب أن يضع في حساباته بعض العوامل التي تجعل الجرعة مناسبة لحالة المريض المعني وعدد مرات تناولها بالنسبة للزمن وعدد مرات الجرعة في فترة العلاج مسترشداً بالملف المذكور.

استخدام الحاسب في اختبار وظائف الرئة

Pulmonary function testing

لاختبار وظائف الرئة فإن المعالج يحتاج إن يعرف القدرة على التنفس العميق في الشهيق والزفير في فترة زمنية ما ويتم معرفة هذا بجهاز يسمى إسبيروميتر (Spirometer) الذي يرسم العلاقة بين معدل سريان الهواء والزمن وبأستخدام معادلات رياضية يستطيع المعالج معرفة أن كانت وظائف الرئة تؤدي بكفاءة أم أنها

تحتاج إلى مساعدة عن طريق العلاج وذلك بالمقارنة بنفس النتائج لحالات مماثلة صحيحة صحياً. وقد استخدم لهذا الغرض حاسب موصل بالإسبيروميتر حيث تحول النبضات فى الرنتين إلى أرقام بإستخدام ثم تقارن هذه الأرقام بمثلتها للأصحاء ثم يعطي الحاسب تقرير كامل عن وظائف الرئة.

الحاسب والتقارير الطبية وأرشيف المستشفيات

Medical record- Hospital Book Keeping

تعتبر التقارير الطبية النمطية غير مواكبة لروح العصر وغير متقدمة إدارياً. والحصول عليها فى وقت العسرة لمتابعة حالة حرجة أمر صعب- لذلك كان لفكرة عمل ملف لكل مريض تحت أسمه ورقمه القومى أمر يخدم الخدمة الحالية الصحية للمواطنين بشكل عام وذلك بإدخال التاريخ المرضى لكل مريض بشكل دقيق وسهل ويسهل الحصول عليه عند الحاجة- وفى كل حالة يستطيع الطبيب المعالج وهيئة التمريض الحصول على صورة من هذا الملف كلما لزم للإسترشاد به أو الإضافة إليه.

ودوائر الحفظ فى المستشفيات كثيرة سواء تلك التى تتعلق بملفات المرض والتى هي جزء من ملف المريض الذى يحمل رقمه القومى- أو ملفات الإحصاءات للمستشفى عن عدد المرضى ونوعية الأمراض التى تعالج وتكاليف العلاجات المختلفة وأنواع العمليات الجراحية وعدد مرات تكرارها لنفس المريض أو لغيره- وخدمات الأطباء وهيئة التمريض والإداريون وإمداد المستشفى بالأدوية والمواد المساعدة (الأكسجين، والخيوط الجراحية، القطن الطبي، المواد المشعة والأجهزة العلمية وأجهزة التحليل وأجهزة الحاسوب، والزجاجيات وأدوات التطعيم والكيمائيات وعمليات الصيانة اللازمة للمبنى والأجهزة، والنظافة العامة).

كل ذلك يصنف وتُعد لها ملفات على الحاسب لتسهيل المتابعة. ويتم الربط والتنسيق بين جميع المستشفيات بواسطة الحاسب لمعرفة كيف يتم الحصول على ما فيه نقص من مادة أو خبرة- كما يتم ذلك فى دوائر متبرجة الكبر من أول العيادات

◆ الباب الأول- الحاسب في خدمة الطب ◆

البسيطة الخاصة إلى أكبر دائرة وهي وزارة الصحة لإمكان معرفة أنسب موقع لعلاج حالة ما من حيث الخبرة والمعدة.

ويمكن عمل جسور علاجية بين بلاد العالم المختلفة عن طريق الشبكات الذكية (Inter net) لمعرفة إمكانية تغطية القصور في دولة لعلاج حالة ما قصرت إمكانيات الدولة الأم على تقديمها من حيث الخبرة والإمكانيات الأخرى مثل الأجهزة وغيرها.

الباب الثاني

فيزياء العلاج بالإشعاع

Physics of radiation therapy

الباب الثاني

فيزياء العلاج بالإشعاع

Physics of radiation therapy

مقدمة

كان العلاج بالإشعاع في بداية أمره مساعداً للتشخيص - وعندما تم التوصل إلى إشعاع طاقاته عالية (ميجا فولت) بدأ العلاج بالإشعاع. هذا الأمر أدى إلى وجود البتاترون (Betatron) الذي يُعجل الإلكترونات إلى طاقات عالية (42 Mev) حتى تعطي أشعة سينية شديداً عالية قادرة على الاختراق إلى أعماق أكبر وبذلك استخدمت هذه الأشعة في علاج الأورام السرطانية.

وعلاج الأورام السرطانية بالإشعاع تعتمد على دقة وتحديد الجرعة المناسبة وقد وجد أن الجرعات الأقل من المطلوب لا تقتل الورم بكامله بل تترك منه بقايا تمكنه من النمو والانتشار مرة أخرى. والجرعات الزائدة عن المطلوب تقتل الورم السرطاني كما تقتل أنسجة أخرى مجاورة وهي في حالة طبيعية.

وحدة الجرعات في العلاج الإشعاعي

The dose unit in radiotherapy

كانت الوحدة المستخدمة قديماً هي جرعة الارتما (The erythema dose) وهي كمية الأشعة السينية التي تسبب إحمرار الجلد (حمرة داكنة) (Reddening of skin) ثم

قسيبت الجرعة بعد ذلك بوحدة الرنتجن (r) (Roentgens) وقد بنيت هذه الوحدة على فكرة تأين الهواء. ثم بعد ذلك استخدام لفظ الجرعة الممتصة (Radiation absorbed dose). وتعرف الراد على أنها مائة إرج/جرام. أى مائة إرج من الإشعاع المستخدم والذي يمتص في جرام واحد من الأنسجة المعالجة ($100 \text{ erg/g} = 1\text{Rad}$) - وتستخدم وحدة الراد بمعنى الجرعة الممتصة أو الجرعة لأي نوع من الإشعاع- ولكن الرنتجن يستخدم فقط للإشعاع السني أو الجامي في الهواء. ويرتبط الراد والرنتجن بحيث إذا تعرضت أنسجة لينة (ماء) لأشعة سينية أو جامية بمقدار واحد رنتجن فإن الجرعة الممتصة تكون في حدود واحد راد، وفي حالة العظام فإن النسبة بين الراد والرنتجن تكون في حدود (4) أي أن كل واحد رونتجن إشعاع سيني أو جامي في العظام يعطي جرعة ممتصة قدرها 4 راد. إلا أن هذه النسبة الآن أصبحت واحدة لكل من الأنسجة اللينة والعظام ثم وجدت بعد ذلك وحدة الجراي (Gray) وهي الوحدة التي يقاس بها مقدار الجرعة الممتصة في النظام العالمى للوحدات. وهى عبارة عن واحد جول من الطاقة الممتصة لكل كيلو جرام من الأنسجة، وهي ترتبط بالراد أي أن الجراي يساوي 100 راد ($1\text{Gy} = 100\text{rad}$). وهذه الوحدة توضح اثر الأكسجين في العلاج بالإشعاع.

أساسيات العلاج بالإشعاع Principle of radiation therapy

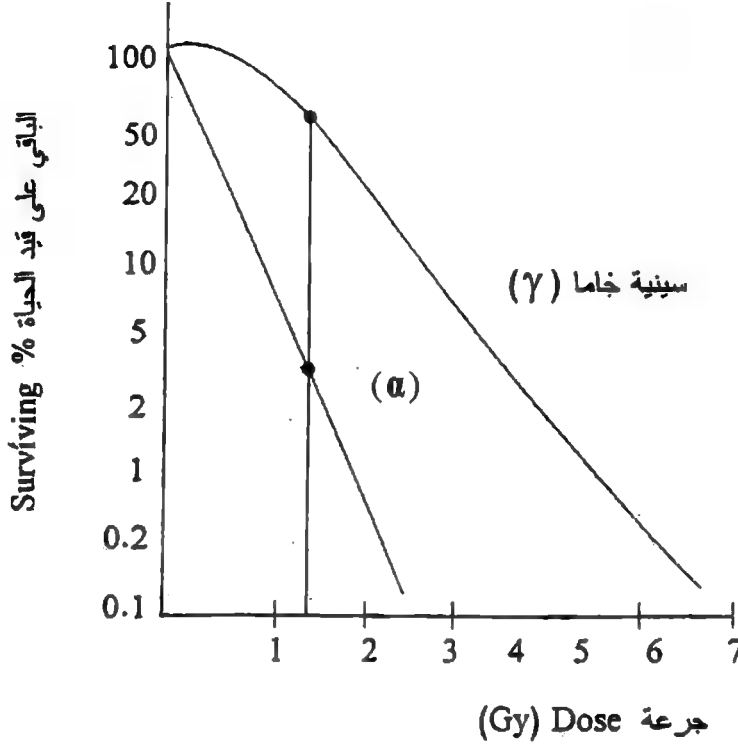
القاعدة الأساسية في العلاج بالإشعاع هي تعظيم أثر الإشعاع في قتل الأورام بقدر الإمكان، وتقليل دور الإشعاع في قتل الأنسجة العادية بقدر الإمكان. ويحدث ذلك بيتوجيه حزمة الإشعاع وتسليطها على الورم من جميع الاتجاهات لإعطاء جرعة كبيرة في وقت واحد ويجب أن نلاحظ أن بعض الأنسجة العادية تكون حساسة أكثر من غيرها ولذلك يؤخذ ذلك في الاعتبار عند وضع خطة العلاج، والإشعاع المؤين سواء كان أشعة سينية أو أشعة جاما فإنه يعمل على إبعاد إلكترونات من الذرات كي تصبح بعد ذلك في صورة أيونات كما أنها تكسر الروابط بين الجزيئات ليسهل تأين

ذراتها.

وهذه الأيونات تعمل كأجسام سامة فتقتل الخلايا المريضة المؤين ذراتها العوامل التي تؤثر على قتل الخلايا هي: نوع الإشعاع، نوع الخلايا، الوسط المحيط بالخلايا. كما يجب أن نعلم أن نواة لخلية أكثر حساسية للإشعاع من السيتوبلازم المحيط بها.

وهناك أنواع من الإشعاع أثرها القاتل أكثر من غيرها وهذا ما يسمى بالأثر النسبي البيولوجي للإشعاع (RBE) (Relative biological effect) والإشعاع الذي يكون أثره المؤين كثيف فإن أثره القاتل (lethal) كبير وانه أثر بيولوجي نسبي أكبر من الوحدة. والأثر البيولوجي النسبي للإلكترونات أو أشعة بيتا هو الوحدة وكذلك للأشعة السينية والأشعة الجامية، أما النيوترونات السريعة فهو خمسة ولجسيمات ألفا يكون أكبر من عشرة.

وشكل (1-2) يوضح أثر الجرعات الإشعاعية المختلفة على نسبة شفاء الخلايا السرطانية ومن هذا الشكل نرى أنه عند الجرعات المخففة من لأشعة السينية والجامية يكون تناقص الشفاء بطئ أي أن الأثر البيولوجي النسبي للقتل يكون بطئ وذلك غير موجود باستخدام جسيمات ألفا، ولذل نلاحظ أن الجرعة 1.4 جراي تؤدي إلى قتل 50% من الورم بواسطة أشعة جاما أو الأشعة السينية في الوقت التي يتم شفاء حوالي 2.5% باستخدام أشعة ألفا وبذلك تصل نسبة القتل 47.5% أي أن الأثر البيولوجي لأشعة ألفا كبير. وتسمى الجرعة الإشعاعية التي تقتل 50% من الأحياء بالجرعة القاتلة لـ 50% (lethal dose (LD₅₀) of 50%) باعتبار أن الإشعاع يعطي بشكل متجانس على كل النسيج في وقت صغير، وإذا حصلنا على الجرعة التي تقتل 50% من الخلايا السرطانية في 30 يوم فإنها تكتب LD₅₀³⁰ أو LD₅₀₍₃₀₎، والجرعة اللازمة لإحداث LD₅₀³⁰ في البشر هي في حدود 4.5 Gy.



شكل (2-1)

وقد لوحظ أن الخلايا السرطانية المشعة في وجود الأكسجين تكون أسهل قتلًا من الخلايا السرطانية المشعة في عدم وجود الأكسجين، (لاحظ ذلك العالم جراي) ونظراً لأنه في الأورام السرطانية الكبيرة يكون الإمداد بالدم للخلايا المركزية قليل وبالتالي الإمداد بالأكسجين فيها يكون قليل الأمر الذي يقلل معدل قتلها. كما لوحظ أنه عندما يشع الورم السرطاني فإن الخلايا السرطانية ذات الصحة الطيبة والتي تمتد بالدم بشكل جيد فإنها تقتل وأن الخلايا لسرطانية التي يصلها الدم بشكل ضعيف فإنها تكون أكثر مقاومة للإشعاع (Radioresistant) وتظل على قيد الحياة، هذه الخلايا قد تتكاثر بالانقسام وتنمي المرض من جديد، ويحدث هذا بعد جرعات عديدة من الإشعاع، وكل الإشعاعات التي لها أثر بيولوجي نسبي كبير (RBE) وأكبر من الواحد تقلل دور الأكسجين المساعد.

الباب الثاني- فيزياء العلاج بالإشعاع

وقد أقترح في حالة الأورام السرطانية الكبيرة والمناطق المقاومة للإشعاع في بعض الأورام (مركز الأورام الكبيرة) فإن الجسم كله يُمد بجرعة زائدة من الأكسجين. وعندما يصل الأكسجين إلى الخلايا المتعطشة إليه (Oxygen starved cell) فإنها تقتل بسهولة.

التخطيط للعلاج بالإشعاع

Planning in the radiation treatment

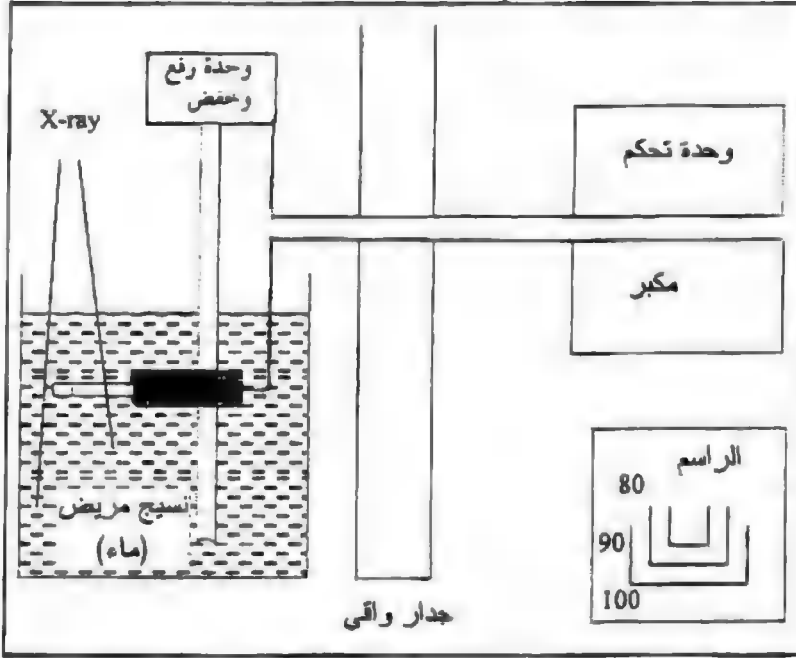
يناط بالفيزيائي الذي يعمل في العلاج الإشعاعي الآتي:

1. معايرة جهاز الإشعاع: أي معرفة كمية الإشعاع- والجرعة الإشعاعية تحت الظروف العادية أخذاً في الاعتبار عند المعايرة كم مقدار الجرعة بالجراي التي ينتجها الجهاز في الدقيقة في وحدة الحجوم الإشعاعية وتحت ظروف تشغيل مختلفة باعتبار أن بعد الجهاز عن لنسيج المعالج ثابت.
2. يحدد الجرعة المناسبة للورم والأنسجة الطبيعية في المريض: ويجب أن يأخذ في الاعتبار تضاريس النسيج المعرض للإشعاع كما يأخذ في الاعتبار تضاريس العظام في الجزء المعالج من المريض وحجم الفراغات الهوائية مثل الرئتين.
3. يحدد الوضع الصحيح للمريض: الذي سوف تسقط على جسمه الجرعات الصحيحة من الإشعاع.

ولتحقيق الخطوة الأولى فإن المعايرة تتم في المعامل القياسية بشكل دوري للاطمئنان على سلامة الجهاز وأن الدقة في الحصول على النتائج بشكل دوري تكون في حدود 1%، ولتعيين توزيع الإشعاع في شعاع ما فإن كاشف الإشعاع يتحرك داخل مريض (إناء به ماء) يسقط عليه الإشعاع ويتحرك هذا الكاشف بشكل آلي كما يتحرك آخر مثله عمودي عليه، والنقاط التي لها نفس الجرعة الإشعاعية ترسم كمنحني متصل

(Isodose)، والمنحني الذي له أقصى شدة إشعاع يسمى 100% وكذلك المنحني الذي شدة إشعاعه أقل تسمى، 10%، 90%، 80%..... والشكل (2-2) يوضح ذات الجرعات الإشعاعية المتساوية في شبح مريض (ماء).

وقبل البدء في العلاج فإنه يفحص المريض من قبل الطبيب المعالج بشكل دقيق ليحدد الورم كما وحجماً، وموضعاً ويستخدم في ذلك جميع وسائل الفحص المباشرة، واستخدام الصورة التشخيصية بالأشعة السينية، والموجات فوق صوتية والتصوير الإشعاعي في الطب النووي حتي يصل إلى قناة بموضع الورم وتحديده كما وحجماً.



شكل (2-2)

وعلى ضوء ذلك يتحدد موضع المريض من جهاز الإشعاع وحجم الشعاع المشع الذي يستخدم في العلاج، ويتم عمل علامات بذلك على الموضع المناسب في جسم المريض. وللوقاية تستخدم أقنعة للمناطق المحيطة بالمنطقة التي تحت العلاج من الرصاص حتي لا تتأثر بالأشعاع حيث تتغير أشكال بتغير وضع الجسم، ويتم إسقاط

الباب الثاني- فيزياء العلاج بالأشعاع

الأشعة على منطقة الورم من اتجاهات عديدة لتعظيم عملية قتل الورم كما، وذلك يمكن من تفادي التأثير على الأنسجة العادية، ويلاحظ عدم حركة المريض لأن ذلك قد يؤدي إلى تغير موضع التصوير الأمر الذي يؤدي إلى أضرار بليغة. ويجب وقف الإمداد بالجرعة إذا زادت حركة المريض. ولذلك حرصت الأجهزة الحديثة على أن تكون هي المتحركة في كل اتجاه حول المريض الثابت بشكل دائم وذلك لسكون أعضاء المريض الداخلية وقد تكون هي المقصودة بالعلاج ويتغير شكلها حسب حركة المريض أي أن الشعاع الإشعاعي سقط على المكان المطلوب فإن صورة بالأشعة السينية تؤخذ من نفس الموضع الذي أسقطت منه الجرعة الإشعاعية لنرى الشكل التشريحي فقط وليس تشخيص ولكن للتأكد من إصابة الهدف، وفي بعض حالات المرض المتقدمة يكون الهدف من العلاج هو تقليل الآلام فقط وهذا لا تستخدم فيه الأجهزة ذات التكلفة العالية بل تستخدم فيه أجهزة تستهلك طاقة متوسطة (orthovoltage) - medium voltage.

ومن أهم وسائل العلاج الإشعاعي هو استخدام ^{60}Co الذي يعطي أشعة جاما طاقتها (1.25Mev) مليون إلكترون فولت. وهذه تمثل أشعة سينية خرجت من جهاز يعمل على جهد قدره (3Mev). ووحدة الكوبلت هذه تكون مزودة بمفاعل وتسمى بقنبلة الكوبلت Cobalt- teletherapy or cobalt bomb unit، وكثير منها مصمم ليدور حول المريض، وأشعة جاما الناتجة من وحدة الكوبلت ^{60}Co تمتص في الأنسجة وتعطي إلكترونات طاقتها عالية ومعظمها يتحرك في اتجاه الشعاع الأصلي. وعندما تصل أشعة جاما إلى عمق ملليمترات قليلة تحت الجلد فإن عدد الإلكترونات المتحررة يزداد وتزداد الطاقة المترسبة منها (الحد الأقصى 5مم تحت الجلد)، وقد تصل شدة الإشعاع المكثف الناتج من ^{60}Co إلى 350 TBq (10^4 ci) ويجب إتصاص كل الأشعة الناتجة والغير مطلوبة حيث أن التحلل (disintegration) لا يمكن إيقافه.

لذلك يكون المصدر (Source) موجود في حظيرة من الرصاص يصل وزنها إلى عدة أطنان، ومن الطبيعي أن يضمحل ^{60}Co على ضوء فترة نصف الحياة

لـ3.5 سنة ويستبدل كل ثماني سنوات. وشدة الإشعاع الخارج من ^{60}Co في حدود 350TBq وهو يعطي 200 رونتجن/ الدقيقة على بعد متر واحد من المصدر.

ويستغرق العلاج باستخدام ^{60}Co حوالي عشرين يوماً بجرعة قدرها 3Gy لمدة دقيقتين (مع استبعاد الاجازات).

وقد استحدث مفاعل خطي إلكتروني (Electron linear accelerator) بجهد قدره 4مليون فولت في حجم وحدة الكوبلث، وهذا يعطي شعاعاً كثيفاً طول الوقت ويخرج هذا الشعاع من مخرج أصغر من فتحة لمصدر وحدة الكوبلث وبذلك يعطي خطوط ذات شدة إشعاع واحدة (isodoes curves) واضحة جداً ويغطي كل استخدامات وحدة الكوبلث في زمن أقل. ويمتاز العلاج بالجهد العالي (megavolttherapy) بالآتي:

1. تمتص الجرعات، القصوي تحت الجلد وهذا التأثير الرشي للجلد (skin spraying effect) يقلل الألم أثناء العلاج (منطقة الإحساس في الجلد).
2. عادة ما تكون الطاقات العالية في مدي التأثير الكمبتوني (compton effect) وهذا لا يعطي جرعات عالية للعظام.
3. قدرة الإشعاع على الاختراق الكبير تسمح بعلاج الأورام بشكل أحسن عندما تكون على أعماق كبيرة.

العلاج الإشعاعي على مسافات صغيرة

short- distance radiotherapy- brachy therapy

استخدام الراديوم لعلاج السرطان منذ زمن بعيد، حيث يوضح مصدر من الراديوم (Source of radium) مباشرة على سطح الورم (إذا كان ذلك سهلاً) وخاصة لعلاج سرطان الأعضاء التناسلية (Reproductive organs) في السيدات، ويمتاز العلاج عن قرب (Brachytherapy) بأنه يعطي أكبر جرعة إشعاعية إلي الرم مع أقل

◆ الباب الثاني - فيزياء العلاج بالأشعاع ◆

جرعة للأنسجة المحيطة به، وأكبر سلبية له هو عدم تجانس الجرعة لشدة قرب المصدر من الورم، إلا أن استخدام مصادر يؤدي إلى تجانس الجرعة كما أن من سلبياته قرب المصالح من المصدر حيث يقل أمانة ويقل أمان هيئة المريض لكون الجسم تحت العلاج فيكون بدوره مصدر للإشعاع، وتكون الحبطة واجبة حيث لا يقرب المريض أحد إلا عند اللزوم وتمنع الممرضات الحوامل في هذه الظروف لحساسية الأجهزة للإشعاع.

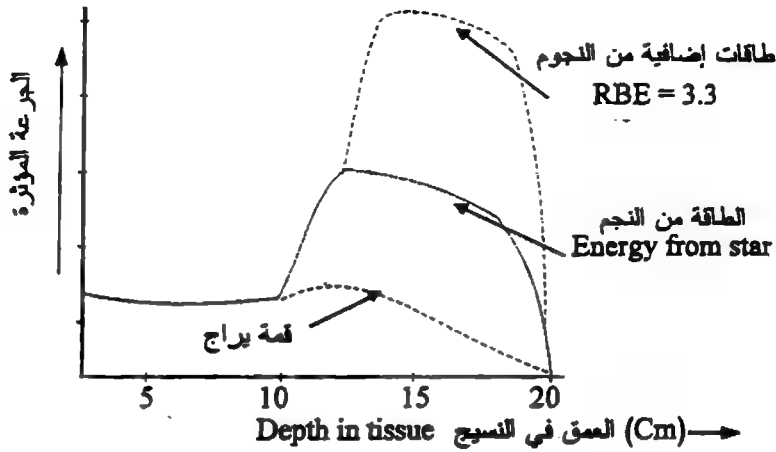
هذا ويجب على المعالج النقاط المصادر فور انتهاء زمن الجرعة ويضعها في حظائرها. وتستخدم إير الراديوم في علاج أورام الخد، حيث يتم وضعها في أماكن موزعة بحيث تعطي جرعة متوازنة ومتجانسة على كل منطقة الورم (وتترك لمدة سبعة أيام)، وقد تستعمل حصوات غاز الرادون (Ra^{226}) الذي هو إينة للراديوم وفترة نصف حياته 3.8 يوم (الحصوات كبسولات من الذهب فيها الغاز) ($1 \times 3mm$)، ويمكن استخدام حبيبات ن الذهب المشع Au^{198} وفترة نصف حياته 2.7 يوم، وكذلك يمكن استخدام اليود I^{126} المشع الذي فترة نص حياته 60 يوماً. وجميع هذه المصادر لا يمكن إعادة توزيعها لتعديل التوزيع بمجرد زرعها في موضعها، ويشذ عن هذه القاعدة الايتريوم المشع Y^{90} . حيث يعلق إلى جوار المنطقة المراد علاجها وفترة نصف حياته 64 يوم يعطي خلالها جسيمات بيتا طاقتها 2.27 مليون إلكترون فولت كما يستخدم الاسترانتشيوم المشع Sr^{90} الذي يعطي أشعة بيتا بطاقة 0.54 مليون إلكترون فولت وفترة نصف حياته 28 يوم، وتستطيع هذه الأشعة إختراق 4مم وهي مثالية في علاج سرطان العين حيث لا تستطيع الوصول إلى عدسة العين ويوضع لمدة ثواني معدودة. وكل من Y^{90} ، Sr^{90} لا يعطيان إشعاع جاما إلا أن قربها من مادة عددها الذري كبير مثل الرصاص قد تنتج أشعة سينية طاقتها عالية كأثر لأشعة بيتا، ولذلك يحفظ كل من Y^{90} ، Sr^{90} في حظائر من البلاستيك التي تمتص أشعة بيتا والأشعة السينية الناتجة.

ومن مصادر الإشعاع الأخرى:

1. استخدام الإلكترونات السريعة وذلك بعد إيجاد الآليات التي تعجل الإلكترونات مثل معجلات الطاقات العالية (high energy accelerators) ومعجل لبنا (Betatrons) والمعجلات الخطية (linear accelerators)، وبذلك تستخدم الإلكترونات ذات الطاقات العالية (Mev مليون إلكترون فولت) فى العلاج بالإشعاع (Radiotherapy).

2. وتستخدم البروتونات وجسيمات ألفا ذات الطاقات العالية (أكبر من 100Mev) فى علاج الأورام حيث أنها تُعطي طاقاتها بالكامل أو معظمها بمجرد دخولها منطقة الورم فى منطقة تعرف بقمة براج (Bragg- peak) وتتحمس ذلك بفعل السلسلة (الباي) على سطح جلد الورم The skin sparing effect.

3. وتستخدم جسيمات أخرى تسمى الميزونات السالبة (π^-) mesons - فى العلاج بالإشعاع وهي جسيمات داخل أنوية المواد المشعة ولكن فترة حياتها 10^{-8} ثانية ويمكن الحصول عليها من التفاعلات النووية باستخدام المفاعلات النووية. وقد تم الحصول على شعاع منها بهدف العلاج بالإشعاع، إلا أن وسائل الحماية من شعاع الميزونات السالبة كثيرة جداً ومكلفة للغاية وذلك لكون طاقته عالية وقوة إختراقه عالية لذلك تستخدم بشكل نادر لا لصعوبة الحصول عليها ولكن لصعوبة الأمان منها، وهذا الشعاع يؤين النسيج الذى يسير خلاله وفى آخر رحلته يُمتص فى أحد أنوية النسيج التى تتفجر وتُعطي ضوءاً لامعاً وكأنه نجم (Star) وتتطلق مع هذا الانفجار طاقة فى حدود 30 مليون إلكترون فولت محطمة النواة إلى أجزاء (fragments) ومؤينة لكل ما يحيط بمنطقة الانفجار. والأثر النسبي البيولوجي لهذا الانفجار المحطم فى حدود 3.3 مرة مثل للأثر النسبي البيولوجي للإلكترونات المؤينة وشكل (2-3) يوضح قمة براج وما يضاف إليها من طاقات من جراء الانفجار فى آخر رحلة الباي ميزون السالب (π^-) mesons .



شكل (2-3)

4. وتستخدم النيوترونات في علاج الأورام السرطانية منذ منتصف القرن العشرين إلا أن النتائج كانت غير مشجعة نظراً للأثار الجانبية لهذا الإشعاع في ذلك الوقت، ولكن الآن تستخدم النيوترونات السريعة في العلاج بالإشعاع مع تقليل الأثار الجانبية، ونحصل على هذه النيوترونات من المعجلات. ومن أشهرها معجل ديوتيريوم - تريتيوم ((Deuteron - tritium (D-T)). ويتم بذلك علاج مريض في عشرة دقائق فإن معدل إنتاج النيوترونات يجب أن يكون 10^{11} نيوترون/ثانية.

ويستخدم العلاج النيوتروني الناتج من عنصر صناعي مشع بزرقه في الورم مثل استخدام عنصر كاليفورنيوم (^{252}Cf) (Californium) الصناعي المشع والذي يعطي نيوترونات بالإضافة إلى أشعة جاما، والنيوترونات السريعة هذه تعطي طاقتها للأنسجة عند التصادم بالبروتونات (أنوية الهيدروجين Hydrogen nuclei) التي تؤين بدورها ذرات الأنسجة عند توقف بشكل كثيف. وقد وجود أن الأثر النسبي البيولوجي للنيوترونات السريعة (RBE) في حدود 5.

والتأين المكثف الناتج من النيوترونات السريعة أو الميزونات السالبة (π^-) يقلل من دور الأكسجين في علاج الأورام السرطانية حتي يكون دور الإشعاع فعال.

الباب الثالث

فيزياء الطب النووي

Radioisotopes in medicine

الباب الثالث

فيزياء الطب النووي – النظائر المشعة في الطب

Radioisotopes in medicine- physics of nuclear medicine

مقدمة

منذ عقود خلت تم إكتشاف مواد لها نشاط إشعاعي الأمر الذي يعني أن أنوية هذه العناصر ليست مستقرة ونشاطها الإشعاعي وإخراجها أشعة جاما (γ) وجسيمات ألفا الموجبة وجسيمات بيتا السالبة هو الطريق الذي يؤدي إلى أستقرار أنويتها.

وجسيمات ألفا (α) يتوقف عن الحركة بعد بضع سنتيمترات قليلة عند مرورها في الهواء وهي نواة ذرة الهليوم، وجسيمات بيتا (β) لها قوة إختراق أكبر حيث تخترق الهواء لعدة أمتار قليلة وتخترق الأنسجة لعدة ملليمترات وهي في حقيقتها إلكترونات معجلة أما أشعة جاما فلها قوة إختراق كبيرة وهي موجات كهرومغناطيسية لا تُري مثل الأشعة السينية لأن طاقتها عالية، أما طاقة جسيمات ألفا وجاما يحددها المصدر، وجسيمات بيتا يكون لها طاقات متعددة حدها طاقة المصدر.

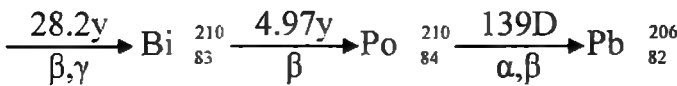
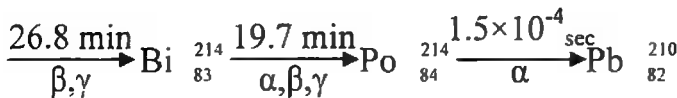
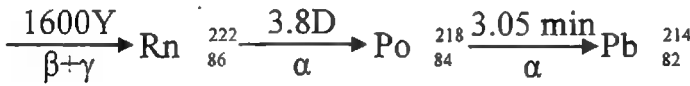
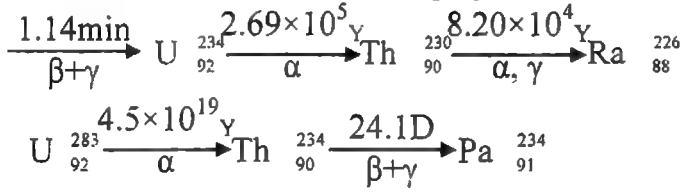
لكل عنصر عدد محدد من البروتونات في نواته ومثال ذلك الكربون والنيتروجين، والأكسجين وعدد البروتونات فيها على الترتيب 6، 7، 8. وقد يختلف عدد النيترونات بنفس العنصر وبذلك تسمى نظائر Isotopes، فإذا كانت نظائر لعنصر غير مشع تسمى نظائر مستقرة Stable Isotope أما إذا كانت نظائر لعنصر مشع فهي تسمى نظائر غير مستقرة Radioactive isotopes ومثال ذلك الكربون له

نظائر مستقرة هما C^{12} & C^{13} كما أ، له نظائر غير مستقرة (مشعة) مثلاً C^{11} & C^{14} .

وقد ساعدت المواد المشعة على تطوير فهم النواة كما ساعدت على فهم كيف يمكن أن تستخدم في العلاج وكيف يتم تتبع أي خيط يساعد في ذلك. كما ساعد استخدام المواد المشعة في العلاج على تطوير المعجلات النووية (nuclear reactors) وإمكانية الحصول على مواد مشعة صناعية بكميات كبيرة لأستخدامها في التشخيص والأبحاث والعلاج.

وأفضل العناصر المشعة في الاستخدامات الطبية تلك التي ينبعث منها أشعة جاما δ وذلك لما تمتاز به من قوة اختراق تمكن من متابعتها خارج الجسم إذا كان المصدر داخله. ويتم ذلك بإستخدام كميات صغيرة جداً من المواد المشعة التي تؤدي الغرض ولا تضر بوظائف الجسم.

والعناصر المشعة تنبعث منها الإشعاعات التي ذكرت بمعدلات تحكمها قوانين لتتحول ما مادة مشعة إلى مادة مشعة أخرى في سلسلة طويلة تستغرق أعواماً عديدة حتي تصل إلى النظير المستقر لها وهو الرصاص ومثال ذلك.



والأخير هو عنصر مستقر (Stable).

وهناك إمكانية كبيرة للعناصر الثقيلة للتحلل إلى عناصر أخرى نظيرة فاليود مثلا له خمسة عشرة نظير مشع (I^{127} مستقر $\rightarrow I^{131}$ مشع) بينما الهيدروجين له نظير واحد والعناصر المشعة تعرف بإشعاعاتها التي لا تغيرها فمثلا U_{92}^{238} يشع جسيما ألفا ولا يشع غيرها وكذلك الرصاص المشع Pb_{92}^{238} يشع (β, δ) ولا يغيرهما وتعتبر الإشعاعات بصمة العنصر التي لا تتغير من حيث النوع والطاقة.

ومن بين العناصر المشعة الصناعية TC^{99m} وهو شبه مستقر (metastable) ويضمحل بعد أن يعطي إشعاع جاما فقط. وتكون طاقة نواة المادة الناتجة (الأبنة) (daughter) أقل من طاقة المادة الأصلية (الأب) (Parent) فمثلا عنصر تكنيتيوم $^{140}_{8}Tc$ (Tc) $\xrightarrow{^{99m}Tc}$ Technetium $^{140}_{8}Tc$ المشبه مستقر يتحول إلى صورته المستقرة بإعطاء أشعة جاما طاقتها (140kev).

وهذه الطاقة الكافية في التطبيقات الطبية حيث تخترق طبقة من الرصاص سمكيا ميللمترات قليلة، وإستخدام المواد الشبه مستقرة داخل الجسم يعتبر من عوامل الأمان لغياب إشعاعات بيتا وبذلك تقل الجرعة الإشعاعية للمريض (Reduce the radiation dose to patient).

والمفاعلا النووية (Nuclear reactors) تنتج المواد المشعة صناعيا بزيادة عدد نيوتروناتها وبذلك تتحول المواد المستقرة إلى مواد مشعة، ولتتحول هذه المواد إلى مواد مستقرة مرة أخرى فإنها تعطي جسيمات بيتا (β) وتزداد إيجابية (شحنتها الموجبة) أى النواة الناتجة بعد الإشعاع.

وهناك نوع من العناصر المشعة الصناعية يعود إلى حالته من الأستقرار من خلال إشعاعه جسيمات بيتا موجبة (بوزترونات) (Positrons) وشحنتها تساوي شحنة الإلكترون غير أنها موجبة، ومثال ذلك الحديد المشع Fe^{18} يعود إلى حالة إستقرار

بإعطاء بوزوترونات (Positrons) وهذا البوزوترون عندما يؤدي دوره يفني في معية إلكترون ويعطي فوتون كتلته (0.511mev). في عملية الفناء الإشعاعي (Annihilation radiation).

وتتضمن النواة التي زادت إيجابيتها عند محاولة معادلة شحنتها بإمتصاص أحد إلكتروناتها وخصوصا القريب منها في المستوي -k والفراغ الذي يظهر في هذا المدار ما يلبث أن يملأ بالإلكترون آخر من مستويات طاقة عليا ويؤدي ذلك إلى انبعاث الأشعة السينية.

وقد يحدث ذلك في مصاحبة شئ آخر مماثل ومفيد - فمثلا اليود المشع I^{125} عندما تمتص نواته أحد إلكتروناتها لتصبح زينون $125(x)$ فإن النواة يصبح لديها فائض من الطاقة قدره 35kev. قد ينبعث على شكل أشعة جاما طاقتها هذه القيمة، وإذا لم يحدث ذلك فإن النواة تعطي هذه الطاقة لأحد إلكترونات المستوي k وتسمى هذه العملية بالتحول الداخلي (Internal conversion) أو الانتقال الأزومري Isomeric transition (IT) عند ذلك ينبعث خطان من طيف الأشعة السينية، وبذلك تكون نتيجة اضمحلال كل مائة نواة من اليود المشع I^{125} تنطلق أشعة سينية طاقتها 140k بالإضافة إلى بعض K_B ، أشعة جامات طاقتها 35kev وكل المودا المشعة لها خاصية نصف الحياة (Half- life) وهي الفترة الزمنية اللازمة لتصبح كمية المادة المشعة نصف قيمتها الابتدائية ($T_1 / 2$) وترتبط المادة الأم بالمادة الابنة عبر عملية الاضمحلال بالقانون.

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

حيث A نشاطية المادة الابنة (Activity)، A_0 نشاطية المادة الأم، t زمن اضمحلال، λ معدل الاضمحلال. وقد تكتب هذه المعادلة على الصورة:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

◆ (الباب الثالث- فيزياء الجسم النوى) ◆

حيث N, N_0 عدد الأنوية للذرة الأم والذرة الابنة في وحدة الحجم بإعتبار أن $A = \lambda N$ ، $A_0 = \lambda N_0$ وبالتالي يرتبط معامل الاضمحلال λ بفترة نصف الحياة بالمعادلة:

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda}$$

ولما كانت وحدات $T_{\frac{1}{2}}$ وحدات زمن فإن وحدات λ هي وحدات مقلوب الزمن، ومن ثم فإن مقلوب معامل الاضمحلال decay constant $1/\lambda$ هو العمر المتوسط للمادة المشعة. فمثلاً $\lambda = 0.01 \text{ hr}^{-1}$ للذهب وهذا يعني أن العمر المتوسط للذهب ^{198}Au هو 100 ساعة.

وبذلك يحسب العمر المتوسط (τ) بالعلاقة:

$$\tau = 1.44 T_{\frac{1}{2}}$$

ووحدة النشاطية الإشعاعية Radioactivity هي الكوري (Ci) وتكتب (C) وهي تساوي 3.7×10^{10} عدد مضمحل / ثانية (no of disintegration/ sec) وهو يمثل في الأصل نشاطية واحد جرام من عنصر الراديوم (Radium)، وطبعاً تعتبر وحدة الكوري وحدة كبيرة في العلاج النووي ولذلك يستخدم الميللي يستخدم كوري (mc)، والميكروكوري (Mc).

بمعني أن:

$$1\text{Ci} = 10^3 \text{ mci} = 10^6 \text{ Mci}$$

$$1\text{mCi} = 10^{-3} \text{ Ci}, 1\text{MCi} = 10^{-6} \text{ Ci}; 1\text{Ci} = 10^{-9} \text{ Ci}$$

$$1\text{PCi} = 10^{-11} \text{ Ci}$$

(حيث m= milli , μ = micro , n= nano , P= Pico)

ولقد وافقت الهيئة الدولية للوحدات الإشعاعية التابعة للاتحاد الدولي للفيزياء البحتة والتطبيقية على اتخاذ وحدة عالمية في هذا الخصوص أطلق عليها أسم الوحدة العالمية الإشعاعية (International commission on radiological unit (I C R U).

بيكريل (Bq) Becquerel وهي المعروفة بالعدد المضمحل/ ثانية.

أي أن:

$$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

ونظراً لأن هذه الوحدة صغيرة فقد أستعيض عنها بمضاعفتها وهي أنسب في هذا المجال:

مثل الكيلو بيكريل (kBq) والذي هو 10^3 عدد مضمحل/ثانية.

وكذلك ميغا بيكريل (MBq) وهو 10^6 عدد مضمحل/ثانية.

وكذلك جيغا بيكريل (GBq) وهو 10^9 عدد مضمحل/ثانية.

المصادر الإشعاعية للطب النووي

Sources of radioactivity for nuclear medicine

أن الجرعات الإشعاعية Radioactive drug or radio pharmaceutical على أعلى مستوى في النقاء من كونها جرعة ونشاط، وكل الجرعات الإشعاعية Radiopharmaceutical المستخدمة في الطب النووي تعدّها شركات خاصة وهي تستخدم كأبي جرعات دوائية ولكن يبقى على المعالج أن يستعين بجدول معين ليعرف المدي التي تضمحل فيه هذه الجرعات منذ معايرتها.

ومثال ذلك اليود المشع I^{131} يجب أن يستخدم خلال فترة نصف حياته وهي ثمانية أيام ويجب أن تراجع إمكانياتها أسبوعياً، كما يجب عدم الإسراف في إستخدامها لأنها تعطي جرعات إشعاعية كبيرة نسبياً من إشعاعات بيتا إلى المريض، وإذا كان

◆ (الباب الثالث- فيزياء الجسم النوى) ◆

المصدر يعطى بيتا وجاما فإن الأنوية المشعة التى نصف فترة حياتها كبيرة تعطى كمية إشعاع أكبر من تلك التى فترة نصف حياتها قصيرة وكذلك تكون طاقة الإشعاعات المنبعثة..

ومن الأنوية الشائعة الاستعمال فى المجال الطبي نواة Tc^{99m} وهذه لها فترة حياة 6ساعات وتتناقص بمقدار أربعة فترات حياة أي 16 مرة يوميا. وتقدم الجرعات بالطريقة الآتية:

النواة Tc^{99m} وهي ابنة النواة Mo^{99} التى فترة حياتها 2.5 يوم. وإعداد 3جيجا بيكريل (3G Bq) أي (100 mci) منها يكون كافى لإعطاء كمية مفيدة من Tc^{99m} . حيث يمكن الحصول 3GBq من Tc^{99m} وذلك بتقطير Rinsed off الابنة فى اليوم الأول. وباستمرار ذلك للنواة الأم (Mo^{99}) يمكن الحصول على 2GBq من Tc^{99m} فى اليوم الثاني وبعد يوم آخر نحصل على 1.5 GBq وهكذا لمدة أسبوع والنظام الذى يعطى الأنوية المشعة بهذه الطريقة يسمى (بقرة حلب) (miliking – cow) أو مولد Generator ويقال أنه يستحلب Milking يوميا أو مرتين يوميا للحصول على النواة المشعة الابنة (daughter).

ويجب أن نلاحظ أن النشاطية الإشعاعية التى نحصل عليها من Tc^{99m} لا تزيد عن النشاطية الإشعاعية Mo^{99} . وقد تكون أقل إذا لم تُعصر أو تقطر كل الأنوية المتولدة (الابنة) أو أن المصدر يستحلب بشكل أسرع بعد آخر إستحلاب. أي أن معدل إستحلاب المصدر (Mo^{99}) يكون أكبر من معدل تقطير الابنة Tc^{99m} .

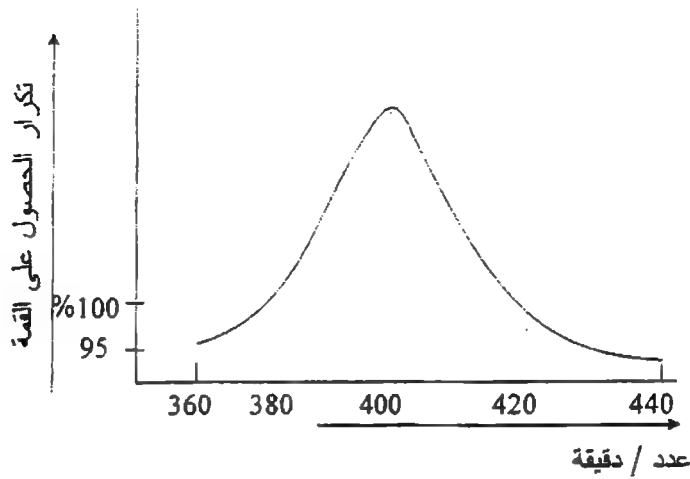
• وفى حالة اليود I^{123} فترة نصف حياته 13 ساعة ولا تنبعث منه أشعة بينما يكون مناسب للدراسات فى الطب النووي ولكنه يتولد فى السيكلترون (Cyclotron) كما تولد مصادر آخر فترة حياتها أقل مثل C^{11} , N^{13} , O^{15} , F^{18} , F^{32} . كما أن السيكلترون يستخدم فى توليد نيوترونات لعلاج السرطان وقد وجد أن استخدام O^{15} ليس عمليا لأن فترة نصف الحياة له هي دقيقتين لا غير، إلا أن سرعة إنتشار الغازات تمكن من

أستخدامه بإفراغه فى رئة المريض ونظراً لنشاطية الأكسجين فإن الجسم يستفيد منه فى ثوان معدودة بعد دخوله الرئة.

المفاهيم الإحصائية فى الطب النووي

Statistical aspects of nuclear medicine

من الطرق الشائعة فى الطب النووي هي عدد الإشعاعات الجامية (δ) التى تُستحس من مريض فى دقيقة واحدة، وللتأكد من ذلك فإن العملية تكرر عدة مرات وذلك بإفترض أن حالة المريض ثابتة (لا حركة، الأجهزة تعمل بكفاءة ومعدل الاضمحلال للأدوية المشعة مهمل). فإنه من الطبيعي أن العدد الذى نحصل عليه فى كل دقيقة من الممكن أن يختلف مع عدد الدقيقة السابقة أو اللاحقة أو يتفق مع أحدهم أو مع كليهما، فإذا كان عدد المرات التى يتم فيها العدد N من المرات وأن تكرار المعدود فى الدقائق المختلفة معروف فإننا نستطيع إيجاد علاقة إحصائية بين قيمة المعدود الجامي (δ) وتكرار الحصول عليه كما فى شكل (1-3). وفى هذا الشكل نجد أن القيمة المتوسطة للمعدود هي 400 وأن ثلثي القيم يقع بين 380، 420 وأن هاتين القيمتين ليست عشوائيتين وإنما مرتبطتان بالقيمة المتوسطة على نحو $400 \pm \sqrt{400}$ ومنها يتبين أن القيمة $\sqrt{400}$ هي الانحراف المعياري (Standard deviation) عن القيمة المتوسطة (σ) وهذا يعنى أن الانحراف المعياري الآن هو $\sigma = 20$ أو 1σ أي الانحراف المعياري فى ثلثي القراءات كان 20 أو 1σ من القيمة المتوسطة وهذا يعنى ن حوالي 95% من النتائج سوف يكون بحيث الانحراف المعياري يساوي 40 أو 2σ . وهكذا.



شكل (3-1)

وقد لوحظ أنه بزيادة الوقت الذي يتم في العد يقل الخطأ في العد. ونظراً لأنه معروف أن العدد الذي يتم وقت تشغيل المصدر هو مقدار العد الكلي (Gross count (Ng))، فإذا ما تمت عملية العد، عندما يكون المصدر موقوفاً فإن المعدود سوف يكون صفر.

إلا أننا سوف نحصل على قيمة هي في الحقيقة آثار ما يحيط بالمصدر من أشعة كونية وانبعثات إشعاعات من الأجهزة الكهربائية noise والدوائر الكهربائية لذلك سوف نسميها أثر المعدود من الخلفية (Nb) Contribution of the background.

فإذا علمنا قيمة Ng، Nb في دقيقة فإن العد المحصل أو الكلي هو (Net).

$$N_{net} = N_g - N_b$$

ولانحراف المعياري المحصل هو: σ_{net}

$$\sigma_{net} = \sqrt{N_g + N_b}$$

فإذا فرض أن N_g تمت فى وقت t_g دقيقة، N_b تمت فى t_b دقيقة فإن معدل عدد النمو Gross count rate (N_g/t_g) ومعدل عدد الخلفية background $\left(\frac{N_b}{t_b}\right)$ count rate.

ويكون الانحراف المعياري لمعدل عدد النمو (standard deviation of gross count rate) هو σ_g .

$$\sigma_g = \sqrt{N_g / t_g}$$

والانحراف المعياري لمعدل عدد الخلفية (Standard deviation of background rate) هو σ_b .

$$\sigma_b = \sqrt{N_b / t_b}$$

ومعدل العدد المحصل:

$$\frac{N_{net}}{\min} = \frac{N_g}{t_g} - \frac{N_b}{t_b}$$

$$N_{net} = \frac{N_g}{t_g} - \frac{N_b}{t_b} \quad (\text{فى دقيقة})$$

والانحراف المعياري لمعدل العدد المحصل:

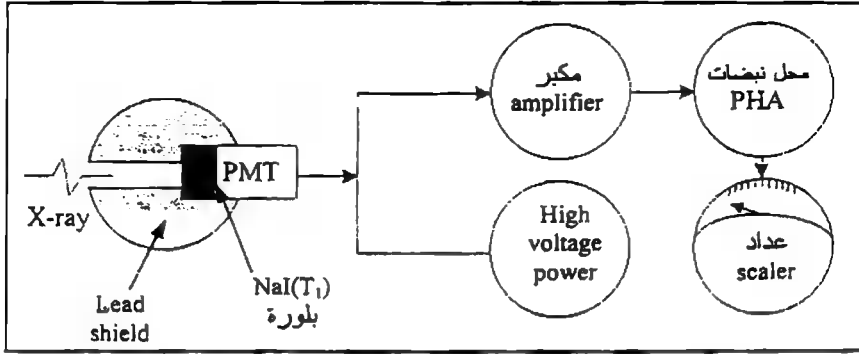
$$\sigma_{net} = \sqrt{\sigma_g^2 + \sigma_b^2}$$

أجهزة الطب النووي nuclear medicine instruments

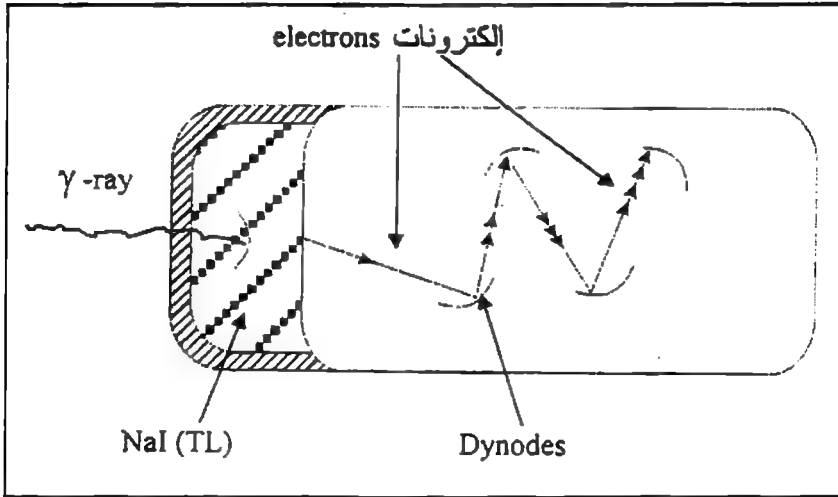
حل عداد جنجر Geiger- Mueller محل بلورة كبريتات الزنك (Zinc sulfide) فى إكتشاف المواد المشعة، وفكرته بنيت على أنه عند دخول إشعاع بيتا أنبوبة جيجر (GM) فإنها تأين الغاز الموجود بالأنبوبة وتؤدي إلى عملية تفريغ ينتج

عنها نبضات كهربية يمكن سماعها أو عدّها كهريباً، إلا أن (GM) لا يفرق بين كمية الإشعاع حيث أن كمية التأين ثابتة. ويستعمل فقط للتحذير. أي أنه جهاز أمان من الإشعاع.

واستخدمت أنبوبة تضاعف الوميض (PMT) Photomultiplier tube التي تستطيع إكتشاف ومضة ضوئية مهما كانت ضعيفة وتقدر كميتها (Estimate the amount) وهي تتكون من بلورة يوديد الصوديوم المطعم بالثاليوم (Thallium NaI (TL) وهي توضع ملاصقة لمهبط ضوئي (Photo cathode) ومعزولة عن الخارج برقائيق الرصاص من جميع الجهات ما عدا فتحة صغيرة (window) لدخول أشعة جاما طاقتها 140kev تمتص تماماً في بلورة NaI (TL) نظراً لحساسيتها، الأمر الذي يجعل البلورة تعطي ومضات شدتها تتناسب مع طاقة أشعة جاما، هذه الومضات تصطدم بالمهبط الضوئي الملاصق للبلورة فتنبعث منه إلكترونات لها طاقة تكتسبها من فوتونات الوميض ليلتقطها أول مصعد حيث تصطدم به وتحرر منه إلكترونات ثانوية وينتج الجميع إلى مصعد آخر جهده الموجب أعلي، وتتكرر العملية في عدة مصاعد (dynodes) حيث تكبر النبضات الكهربية ويمكن عدّها مباشرة بعدد خاص، ولكنه من المعتاد عد نبضات معينة أي لها خواص معينة ويستخدم لذلك محلل إرتفاع النبضات (PHA) pulse light analyzer. وفي العادة تحدد حزمة الارتفاعات المطلوبة بأخذ أعلي قيمة مؤثرة لإرتفاع النبضة وأقل قيمة مؤثرة لإرتفاع النبضة، ولا يسمح للباقي من النبضات، أي لا يسمح للإرتفاعات الأعلى من المطلوب ولا يسمح أيضاً للإرتفاعات الأقل من المطلوب وتسمى هذه الحزمة بالشباك في محلل أرتفاع النبضات The window of pulse hight analyzer وكل النبضات التي تنطبق عليها شروط الشباك تدخل في الاعتبار وتعد كما في شكل (2-3). أ، ب.



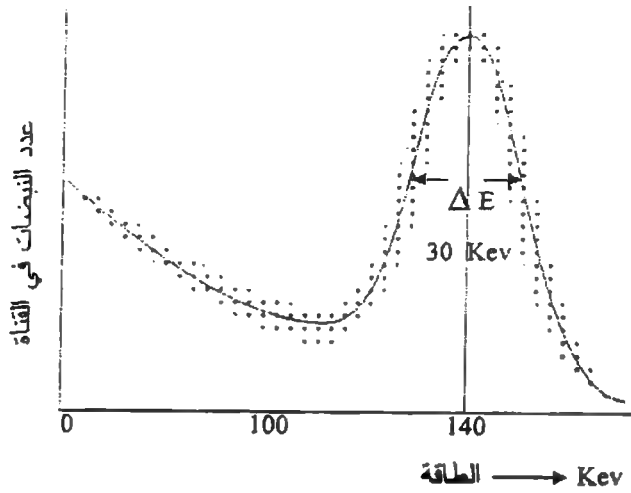
شكل (2-3، أ) توصيل أنبوبة تضاعف النبضات مع دائرة العد.



شكل (2-3، ب) أنبوبة تضاعف الومض (PMT).

إذا أريد عمل إحصائية لتوزيع ارتفاع النبضات (Pulse high distribution of all pulses) فإننا نستبدل محلل ارتفاع النبضات (PHA) بمحلل عديد القنوات (MCA) (multichannel analyzer) الذي يصنف النبضات حسب الحجم إلى 256 مجموعة أو 512 مجموعة. فإذا ما تعرضت بلورة NaI (TL) إلى مصدر إشعاع (δ) وحيث الطاقة (mono energetic) مثل ^{99m}Tc 140keV.

فإن توزيع ارتفاع النبضات الناتج من (MCA) يكون كما في شكل (3-3).



شكل (3-3)

حيث تتركز الطاقة حول القمة 140 كيلو إلكترون فولت والنبضات ذات الطاقات القليلة تكون نتسجة أثر كميتون (Compton inter effect) حيث تستطار بعض الفتونات من البلورة وتهرب، كما أن عدم تجانس البلورة (NaI (TL وعدم تجانس المهبط الضوئي يؤديان إلى اتساع عرض القمة الكلية حول 140keV. ونظراً لضعف قوة فصل (PMT) فإن التفرقة بين مصدرين طاقتهما متقاربه، غير ممكن وتحسب قوة الفصل بمعلومية عرض القمة عند نصف الارتفاع مقسوم على طاقة الفتونات التي أنتجت القمة. أي أنه من شكل (3-3).

$$\text{Resolution} = \Delta E / E_{ph} = \frac{30}{140} = 21\% \quad \text{فإن:}$$

وهناك كواشف من المواد الصلبة الشبه موصلة، وهي تعمل كما لو كانت غرفة تأين صلبة (Solid ionization chamber) وهي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي إلا عند التأين بفعل الإشعاع (δ) وتحفظ عند درجات حرارة منخفضة لتفادي التيار الحراري وعند مرور أشعة (δ) بها فإنها تمتص فيها وتعطي عدداً كبيراً من أزواج الأيونات (ion pairs) ويكون ذلك في حدود زوج من الأيونات لكل 3eV من الطاقة

الممتصة، وبذلك عندما تكون طاقة أشعة جاما 140 (Kev) من Tc^{99m} وأمتصت فإننا نحصل على 48.000 زوج من الأيونات، إلا أن حجم النبضات باستخدام الكاشف الصلب يكون صغير رغم أن قوة فصله عالية وتلك ميزة أساسية له.

ومن الطبيعي أن يحتاج المعالجون كواشف تستطيع الكشف عن أشعة جاما في جزء صغير من الجسم، لذلك صممت أطراف معزولة عزلاً إشعاعياً (رصاص) إلا من فتحة أو فتحات صغيرة لتدخل منها الإشعاعات تسمى المجمعات (Collimators) ومنها المجمعات المسطحة (flat filed collimator) ويستخدم في اكتشاف وعد أشعة جاما من الأجزاء ذات الحجم الكبير نسبياً في الجسم مثل الكلي والغدة الدرقية (Kidney and or Thyroid) ومنها ما يسمى بالمجمعات المركزة (focused collimators) وفتحاتها دقيقة جداً وتستخدم عادة في الطب النووي التصويري (Nuclear medicine imaging) لنفاذها إلى مواضع ذات أحجام صغيرة وقد يصمم منها أطراف لإلتقاط أشعة جاما ذات طاقة معينة وكأنها تعمل عمل شبك (window).

ومن الاختبارات المعروفة هو اختبار أداء وظيفة الغدة الدرقية (Thyroid) والذي يستخدم فيه (PMT)، وهذا الغدة تستخدم اليود لإنتاج الهرمونات التي تتحكم في معدل البناء (metabolic rate) في الجسم والشخص الذي غذته قليلة النشاط (under active thyroid (Hypothyroid) أي أنها تحتاج إلى يود أقل من العادي (euthyroid) normal thyroid function) والشخص الذي غذته تتمتع بنشاط عال (hyperthyroid) Overactive thyroid) أي أنها تحتاج إلى يود أكثر من العادي.

وفي حالة اختبار الـ 24 ساعة فإن كمية صغيرة من I^{131} في حدود 300kBq بشكل سائل أو أقراص (عبوءات) (capsule) تعطي عن طريق الفم، ثم نحسب كمية اليود لمدة 24 ساعة في الغدة الدرقية كل دقيقة، كما تجري التجربة في نفس الوقت على كمية مماثلة من نفس اليود لإستخدامها للمقارنة، ونظراً لأن I^{131} يضمحل في

◆ (الباب الثالث- فيزياء الجسم) (النوى) ◆

المريض ومن اليود العياري بنفس المعدل فإن المقارنة تكون كافية ولا داعي لأية تصحيح فيما عدا تصحيح الخلفية.

والنسبة بين ناتج العدد من الغدة إلى ناتج العدد من اليود العياري مضروباً في 100 هي نسبة أخذ اليود في 24 ساعة. والنسبة للغدة العادية هي (40% - 10%) بنسبة متوسطة حوالي 20%، وإذا كانت نسبة ما يحتاجه المريض أكبر من 40%، فإن الغدة عالية النشاط. أما إذا كانت إحتياج المريض أقل من 10% فإن غدته قليلة النشاط ويعزي إلى حصول المريض على نسبة من اليود المستقر حديثاً.

ويفضل أن يتم هذا الاختبار دون إعطاء المريض I^{131} (in viva) ولكنه يتم على عينة من الدم في أنبوبة إختبار (in vitro)، وهذه طريقة آمنة وبعيدة عن استخدام الإشعاع.

يمكن التعرف على وظائف الكلي باستخدام (PMT) حيث يحقن المريض باليود I^{131} وعند وصول الدم إلى الكلي وتبدأ الكلي في استخلاصه من الدم وتسجيل النشاطية الإشعاعية لكل كلي باستخدام (PMT) باستخدام المجمعات المسطحة أو الواسعة ثم تصل لنبضات الناتجة من (PMT) إلى ما يسمى بمقياس المعدل (rate meter) حيث يتم تسجيل النشاطية الإشعاعية الكلي مع الزمن، ومقياس المعدل هذا يأخذ متوسط النبضات في زمن صغير وتستخلص النتائج بالعدد/ دقيقة أو العدد/ثانية أو قد تسجل بشكل دائم على شريط العدد مع الزمن ويسمى الرينوجرام (Renogram)، ويعطي الانحراف المعياري في المئة $\sigma\%$ Percent standard deviation:

$$\sigma\% = \frac{\sqrt{2N\tau}}{2N\tau} \times 100$$

حيث: n معدل المعدود، τ ثابت الزمن (Time- constant) ويطلق على التجربة السابقة إسم تجربة حية (in vivo).

ولإجراء هذه التجربة على عينة بدلاً من الكلي أي تُعتبر التجربة غير حية (in vitro) فإننا نستخدم أنبوبة تضاعف النبضات مزودة يجب أو بئر (well) وذلك لوضع العينة فيه بحيث تكون ملاصقة لبلورة NaI (TL).

ويمكن الحصول على العينة من المريض بحقنة في شرايين أحد الذراعين باليود المشع I^{131} بجرعة 200kBq أو (5Mci)، وبعد خمسة عشرة دقيقة تُسحب عينة من الذراع الآخر، ثم يعد باستخدام (PMT)، وتقارن مع عينة عيارية.

وفي بعض الحالات يستخدم سائل ككاشف بدلاً من NaI (TL) حيث تخط مع العينة في (PMT) ثم يحسب ويعد ومن ميزات هذه الطريقة أنها تسجل أضعف النبضات وتحسبها (مثل نبضات أشعة بيتا الضعيفة) والتي يصعب على الكواشف الأخرى الإحساس بها، ونظراً لضعف النبضات فإن الكاشف والعينة تُبرد حتي نتفادي أثر ضوضاء الخلفية من المصدر الحرارية على (PMT)، ويستخدم هذا الكشاف فتعين النشاط الإشعاعية في بول العمال الذين يعملون في مجال التريوم (tritium).

أجهزة التصوير في الطب النووي

Nuclear medicine imaging devices

عند حساب النشاط الإشعاعية لأي عضو من أعضاء الجسم للحصول على معلومات ذات قيمة، فإنه من المفيد أن نعرف كيفية توزيع الإشعاعات في هذا العضو.

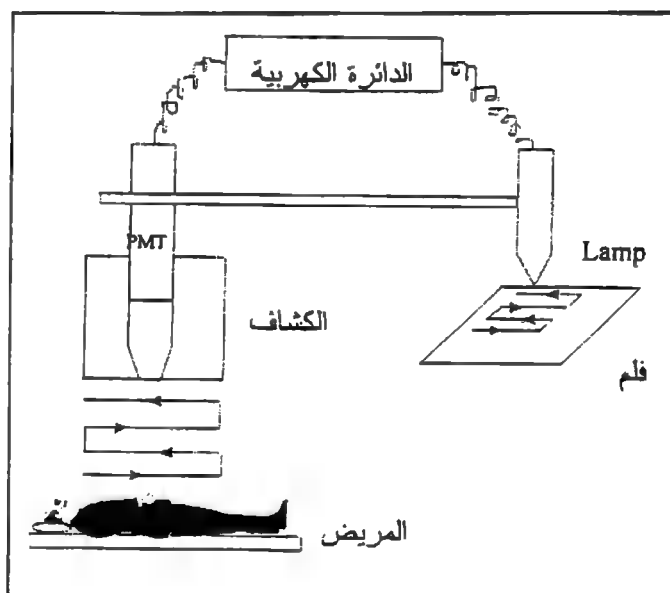
وتصوير العضو (imaging) يعطي صورة لتوزيع النشاط الإشعاعية، وهناك جهازين للتصوير في الطب النووي هما:

1. الماسح الغير خطي Rectilinear scanner.

2. مصورة الجاما Gamma camera.

أولاً: الماسح الخطي Rectilinear scanner

وفيه تتحرك بلورة الكاشف (TL) NaI بشكل تذبذبي لترسم خطوطاً زواياها قائمة على الجزء تحت الاختبار وتعطي تسجيل دائم لمعدل العد (count rate) أو مخطط لتوزيع الإشعاع في الجزء المعني من الجسم وقد تطورت أبعاد بلورة (NaI) (TL) حتي وصلت إلى قطر قدره 12.9سم وطول مقداره 6سم الأمر الذي زاد الصورة وضوحاً كما أن زمن التصوير قل أنظر الشكل (3-4) الذي يوضح الماسح غير الخطي.



شكل (3-4)

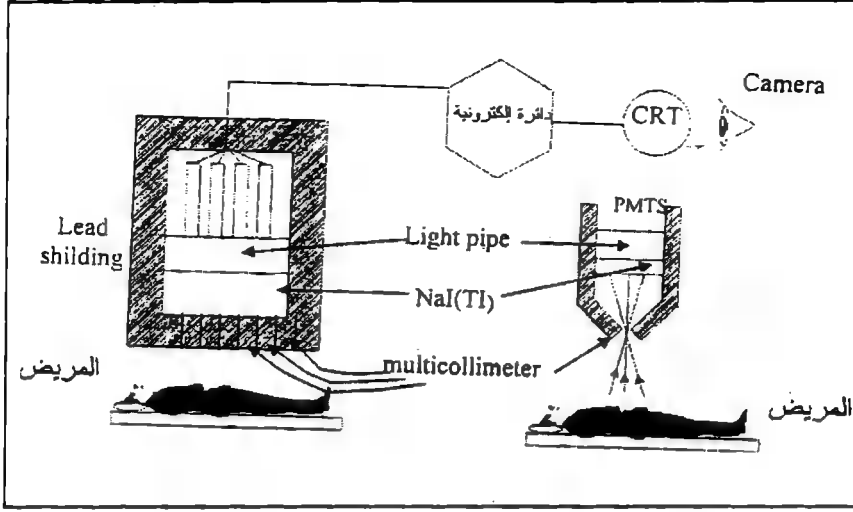
ونحصل على صورتين، لتوزيع الإشعاع إحداهما على شاشة (CRO)، والثانية نحصل عليها من حركة مصباح على لوح حساس ضوئياً وشدة درجة السواد تزداد كلما كانت إضاءة المصباح أشد حيث تكون أشعة جاما أكثر طاقة ومن الممكن تسجيل النتائج على شرائط التسجيل ويمكن تحليلها فيما بعد ونحصل منها على صور كمية (Quantitative image)، ويمكن أن يتم ذلك للجسم بأكمله في عملية مسح شامل،

ويلزم عمل المسح على كلي جانبي المريض، وبعض الكواشف لها طرفين لمسح الجانبين في قوت واحد، وبذلك يقل وقت التصوير والمطلوب فيه من المريض أن يكون ساكن أو قريب من ذلك وخصوصاً إذا كان المسح على منطقة الكبد التي تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل بسعة قدرها 2سم في عملية التنفس العادية.

ثانياً: جهاز التصوير الجامي (Gamma Camera)

يحتوي هذه الجهاز على بلورة كاشفة (TL) NaI سمكها 1سم وقطرها يصل إلى 50سم ويمكننا رؤية التصوير من خلال أنبوبة مضاءة (Lighted-pipe) بعدد من مضاعف لنبضات (PMT/s) يصل إلى (19-37) نبضة، فعندما تتفاعل أشعة جاما في أي مكان من البلورة فإن ذلك يحدث نبضة قوية في أقرب (PMT) ونبضات ضعيفة في (PMTs) البعيدة، هذه النبضات تعالج كهربياً (إلكترونياً) لتعيين الإحداثيات للكاشف (x, y)، وبالتالي تظهر نقطة بيضاء على شاشة (CRT) لتعيين الموضع المقابل لـ (x,y) على الشاشة (CRT). والتي يمكن تصويرها بمصورة مقبلة للشاشة وتصوير مصورة الجاما بطريقة المسح إعداد هائلة من هذه النقاط المضئية (مثلاً 400,000) والتي تكون كافية لإغطاء صورة على النشاط الإشعاعي للجزء أو للجسم تحت الاختيار.

وغالباً ما يستعان بحاسب متصل بمصورة الجاما ليعطي تحليلاً للناتج. ومصورة الجاما لها قوة فصل عالية (resolution power) بالمقارنة بالماسح الغير خطي، حيث تستطيع أن تفرق بين مصدري جاما المسافة بينهما 5مم عندما يضبطان قريبان من فتحة المجمع (Collimator)، كما أن وقت التصوير أيضاً يعتبر قليل وبذلك نحصل منها على معلومات ديناميكية كما أن ذلك يمكن من استخدام مصادر إشعاعياً فترة نصف حياتها قصير في حدود 2دقيقة أو أقل. والشكل (3-5) يوضح تجهيز مصورة جاما.



شكل (3-5)

الأسس الفيزيائية لطرق التصوير في الطب النووي

Physical principles of nuclear medicine imaging procedures

يمتاز التصوير في الطب النووي لأعضاء الجسم باستخدام مصورة الجاما عن الماسح الغير خطي بقصر الزمن والحصول على معلومات ديناميكية وكبر قوة الفصل للمصادر المتقاربة إلا أن الصور الناتجة من الآلتين متشابهة وكلاهما يعطي معلومات عن الأورام لا تستطيع توضيحها الأشعة السينية نظراً لأن معدل إمتصاصها في الأنسجة العادية والأنسجة التي بها الأورام واحد.

والتصوير الإشعاعي يوضح الأورام مهما كانت دقيقة حيث يوضح الحويصات الصغيرة (nodules) والكتل والتواءات (lumps) والتي من المحتمل أن تكون سرطانية (Cancerous) والكتل والتواءات المتحوصلة (كامنة) (Colded) ويكون لها ميل لتتحول إلى أورام سرطانية بشكل أكبر من التواءات في الأنسجة التي تؤدي وظائفها مثل نسيج الغدة الدرقية (Thyroid tissue) والتي يمكن أن تعطي جرعات إشعاعية (takes up radioactivity).

ولإيضاح الفرق بين نسيج الغدة الدرقية العادي والنسيج الذى به حويصلات كامنة فإنه من الممكن إعطاء جرعة I^{131} فى حدود 4MBq (100mci ~) عن طريق الفم يتم التصوير فى اليوم التالي، ومن الممكن عمل نفس الشئ باستخدام Tc^{99m} الذى تمتصه نفس الأنسجة التى تمتص اليود وتكون الجرعة فى حدود (4mci ~) 150MBq ويفضل Tc^{99m} لأنه يعطي جرعة إشعاعية قليلة للمريض، وأن كان I^{123} يعتبر من العناصر الممتازة فى تصوير الغدة الدرقية حيث أنه يعطي جسيمات بيتا وفترة نصف حياته 13 ساعة. وجرعته المستخدمة فى حدود 20MBq. وفى جميع الحالات يتم تصوير الغدة قبل وبعد إعطاء الجرعة، ويكون الفرق هو ملاحظة الحالات يتم تصوير الغدة قبل وبعد إعطاء الجرعة، ويكون الفرق هو ملاحظة تركيز المواد المشعة على المناطق التى بها الحويصلات الورمية الكامنة (Reduce of radioactivity increase over nodules وفى الكبد ينتشر السرطان (cancer metastasizes) ويمكن أن يكتشف بالمسح الإشعاعي حيث تُصفي أنسجة الكبد العادي الجسيمات المشعة الدقيقة من الدم، بينما الأجزاء من الكبد التى بها ورم لا تفعل ذلك وتظهر فى الصورة بشكل مظلم (reduced radioactive areas)، ويستخدم لذلك ~) 200MBq (5mci من Tc^{99m} المعلق على الكبريت الذى قطر جسيماته فى $0.5\mu m$ وتحقق فى الوريد ثم يتم التصوير بعد عشرة دقائق.

وأعراض الورم الخبيث فى المخ تتشابه مع أعراض أخرى لحالات أقل خطورة، إلا أن آلات الطب النووي قد تطورت لتتعرف على الأورام فى المخ. وقد وجد أنه عند حقن المادة المشعة فى الدم فإن مناطق الورم فى المخ تمتصها بشكل أكبر من امتصاص الأنسجة العادية فى المخ لها، ويستخدم فى ذلك جرعة فى حدود 500MBq من Tc^{99m} وبعد ساعتين يتم تصوير الرأس من الأمام والخلف واليمين واليسار باستخدام آلة التصوير الجامية (Gamma camera) لحسن التشخيص.

ويفيد تصوير النشاطية الإشعاعية فى إكتشاف سرطان العظام أكثر من صور الأشعة السينية، حيث أن الأجزاء التى يخطمها السرطان من العظام تحاول بناء نفسها بأن تأخذ كم أكبر من العناصر اللازمة لذلك وبشكل أكبر من العظام العادية، ولإيضاح

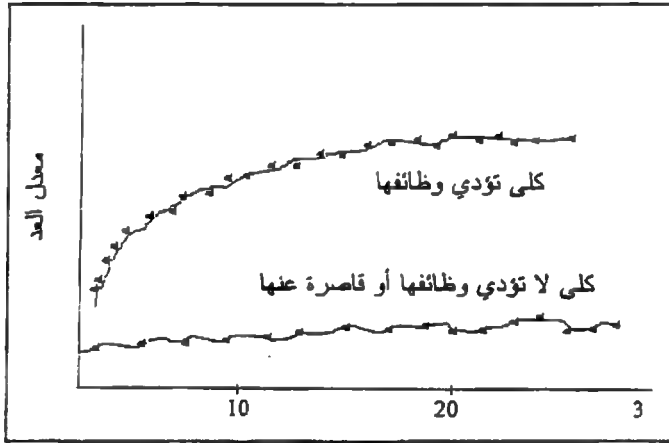
الباب الثالث- فيزياء الجسم (النوى)

ذلك يُحقن الجسم بمادة Tc^{99m} فى مركباته الفوسفاتية بجرعات فى حدود 500MBq ويتم التصوير بعد 3 ساعات.

والصورة توضح أن المادة المشعة تتركز فى مناطق الأورام والمناطق المتنامية ويتم التصوير باستخدام مصورة جاما فى الماسح اللاخطي.

وقد يستخدم لذلك الفلورين (Flourine) المشع F^{18} حيث يستقر فى بلورات العظام فى مواضع أيونات OH^- وونظراً لأن فترة نصف حياته 110 دقيقة فإنه يولد فى موضع العلاج.

والتصوير النووي يفيد أيضاً فى اختبار وظائف الكلى وخصوصاً عند عمليات الزرع حيث يحقن قدر من حامض البيوريك (Hippuric acid) المشع فى الدم والذى تستخلصه الكلى بسرعة، وتراقب الكلى باستخدام مصورة الجاما كما يمكن الحصول على رينوجرام (renogram) بتوصيل مصورة الجاما بالحاسب (computer) حيث تظهر قائمة كما أن معدل العد يكون قليل فى الرينوجرام للكلى التى لا تؤدي وظائفها شكل (3-6). أو التى بها قصور شديد فيها.



شكل (3-6)

وفى حالة الإلتسدادات الرئوية (Pulmonary embolism) من جراء تجلط الدم فإن 100MBq من Tc^{99m} الزلالي يحقن فى الوريد حيث يصل القلب ثم إلى الرئتين.

ونظراً لأن قطع الجلطات كبيرة نسبياً فإنها لا تستطيع المرور عبر الشعيرات الدموية وتسد بعضها ولكنها تتكسر فى وقت قليل، ويتم التصوير الإشعاعي بمصورة الجاما أو الماسح اللاخطي بعد الحقن مباشرة حيث أن المناطق التى بها جلطات أقل إضاءة بسبب عدم التوارد إليها.

أما دورة الهواء فى الرئتين فيمكن تتبعها باستخدام غاز مشع مثل xenon ^{133}Xe والذى فترة نصف حياته 5.3 يوم، حيث أن توزيع النشاطية الإشعاعية وزمن تواجدها يعطي معلومات هامة بالنسبة للتشخيص.

أما القلب فهو أصعب الأعضاء فى الجسم فى الدراسة بآليات الطب النووي نظراً لدقاته الدائمة التى تقلل التفاصيل المفترض رؤيتها فى الصورة.

العلاج بالإشعاعات النووية Therapy with radioactivity

الإشعاع المؤين مفيد جداً فى علاج السرطان، والمواد الإشعاعية السائلة التى تخدم هذا الغرض تؤخذ بالفم، حيث يستخدم ^{131}I بالجرعات 150-400MBq لعلاج الغدة الدرقية التى زاد نشاطها (overactive thyroids) وقد تزيد الجرعات إلى 2GBq لعلاج بعض سرطان الغدة الدرقية، ويكون تأثير العلاج بالإشعاع كبير نظراً لإمتصاص جسيمات بيتا فى مكان محدد.

والفسفور المشع ^{32}P يشع أشعة بيتا فقط ويستخدم فى علاج الحمرة (Polycythemia) حيث تزداد فيه عدد كرات الدم الحمراء بشكل أكبر من الطبيعي. وهذا الإشعاع يعمل على تقليلها.

الجرعات الإشعاعية في الطب النووي

Radiation Doses in nuclear medicine

نظراً لقابلية النظائر المشعة في التركيز في عضو معين فإن توزيعها في الجسم يكون غير متجانس، والعضو الذي تترسب فيه أكبر جرعة يسمى العضو الحرج (Critical organ) لطريقة ما.

والجرعة المحددة لعضو معين في الجسم تعتمد على الخواص الفيزيائية للمواد المشعة (Radionuclide) من حيث الإشعاعات الخارجة منها وطاقة إشعاعاتها. وزمن بقائها في العضو المعني. وزمن بقائها في العضو تحت الاختبار أو فترة نصف الحياة المؤثرة (Effective half life time) $\left(T_{\frac{1}{2}} \text{eff}\right)$ ، تعتمد على كل من فترة نصف الحياة الحيوية $\left(T_{\frac{1}{2}} \text{phy}\right)$ (Biological half- life time) وهي الفترة اللازمة لتصل قيمة عدد الذرات الموجودة في العضو إلى نصف قيمتها وفترة نصف الحياة الطبيعية للعنصر $\left(T_{\frac{1}{2}} \text{phy}\right)$ وتعطي بالمعادلة الآتية:

$$T_{\frac{1}{2}} \text{eff} = \frac{\left(T_{\frac{1}{2}} \text{bio}\right) \left(T_{\frac{1}{2}} \text{phy}\right)}{T_{\frac{1}{2}} \text{bio} + T_{\frac{1}{2}} \text{phy}}$$

ملاحظة: في الغالب إذا كانت فترة نصف الحياة الحيوية أو فترة نصف الحياة الطبيعية صغيرة عن الأخرى فإن فترة نصف الحياة المؤثرة تكون مساوية أو قريبة من القيمة الصغيرة لأيهما.

الباب الرابع

الوقاية من الإشعاع

Radiation protection

الباب الرابع

الوقاية من الإشعاع

Radiation protection

مقدمة:

يسقط الإشعاع على سطح الأرض كما ينتشر في الكون جميعه منذ الأزل وبذا قدر لجميع المخلوقات أن تعيش في بيئة من الإشعاع، والإشعاع الطبيعي أو إشعاع الخلفية (background radiation) يأتي من مصادر متعددة، منها ما يقرب من 22% يخرج من أجسامنا نحن بني البشر (مثل البوتاسيوم المشع) ونسبة أخرى ليست قليلة تخرج علينا من التربة التي نعيش فوقها ومشتقاتها مثل المباني، ومودا البناء وهذه تعتمد على الموقع الجغرافي على سطح الأرض حيث يزيد عن معدله المتوسط في مواقع مثل البرازيل والهند، كما يصل إلى الأرض نسبة عالية من الأشعة الكونية (Cosmic rays) القادمة من الفضاء الخارجي، وطبقات الجو العليا تحمي الأرض من نسبة عالية من هذه الأشعة بالإضافة إلى الأشعة فوق البنفسجية.

والهواء الذي نتنفسه مصدرا من مصادر الإشعاع حيث يحتوي على غاز الرادون (Radon gas) وهو أحد أبناء عائلة الراديوم المشع وفترة نصف حياته 3.8 يوم وهو يدخل الرئة مع هواء الشهيق ويلتصق بالغشاء المبطن للحويصلات الهوائية وبذلك تكون الرنتين أكثر تعرضا للإشعاع من باقي أعضاء الجسم حيث يصل ما يصيب الرنتين من الإشعاع تسعة أمثال باقي الجسم، وتعتمد نسبة غاز الرادون في المباني على نوع المباني ففي المساكن الخشبية تمثل نصف ما في المساكن الطبيعية وهي

أيضاً ثلث ما في المباني الخرسانية، وأوراق التبغ أثناء تجفيفها تلتصق بها جزيئات غاز الرادون وبذلك تكون من مسببات السرطان عند السادة المدخنين وتبلغ نسبة الإصابة بين المدخنين خمسة أمثال غير المدخنين. والتعرض للإشعاع طبيياً يأتي من استخدام الأشعة السينية والمواد المشعة في التشخيص والعلاج.

والوقاية من العلاج يكمن في كلمة واحدة (التعليم) والعاملون في هذا المجال لا يأبهون بها ولا يتصورون أنها ضرر عليهم ويتعاملون معها كما يتعامل العامة مع حوادث السيارات، وقد نُحدد جرعة الإشعاع الآمنة إلا أن التعامل مع الإشعاع يكون بحذر شديد كما أننا نفرط في تحذير المدخنين بالتوجيه بأن سيجارة واحدة أو حتي نفس واحد يكون مميت.

والقول الفصل (ما كان كثيره مُسكر فقليله حرام)، وعلينا أن نوازن بين الفوائد والخطورة ففائدة التشخيص بالأشعة السينية بالجرعة الآمنة أكثر فائدة من خطورتها القليلة، ولذلك فإنه لا يوجد خط واحد واضح لحد الخطر من الجرعة القصوي المسموحة للتدخين ((maximum permissible smoke (MPS) وقد يكون حد هذه الجرعة أو الجرعة القصوي المسموح بها (MPD) maximum permissible dose هو ظهور أعراض سرطان الرئة آخذين في الاعتبار إحصاءات كثيرة أخذت عل شريحة كبيرة من المدخنين.

الأثر البيولوجي للإشعاع المؤين

Biological effect of ionizing radiation

للأشعة السينية والمواد المشعة الأخرى آثار جسيمة بيولوجية، فقد لاحظ الكثيرون أن المساحات من الجلد التي تتعرض للأشعة السينية يحمر لونها وإذا زادت الجرعة فإنها تنقرح وقد تؤدي زيادة الجرعة التراكمية إلى ظهور أعراض سرطان الجلد مع مرور الزمن، وقد يمتد ذلك إلى ما تحت الجلد كما يحدث في حالة التعرض المباشر لمودا مشعة لفترات زمنية.

◆ (الباب الرابع- الوقاية من الإشعاع) ◆

والآثار البيولوجية للإشعاع نوعان إثنان: جسدي (Somatic) ووراثي (genetic) والآثار الجسدية تؤثر على الأفراد مباشرة مثل فقدان الشعر، وإحمرار الجلد وتقشره، وهذه تعتمد على كمية الإشعاع والجزء المشع من الجسم وعمر المريض حيث يكون الأثر الجسدي كبيراً كلما كان المريض صغيراً وأخطر الأيام التي يحدث فيها الأثر الجسدي هي أيام ما قبل الولادة حيث يؤدي أثر الإشعاع إلى تشوه الأجنة في بعض فترات الحمل.

والآثار الوراثية (Genetic effects) تكون على الخلايا الوراثية التي تؤثر في أجيال قادمة وذلك عندما يسقط الإشعاع في عملية التشيع على الخلايا الوراثية ولذلك ينصح باستخدام أقنعة واقية للغدة التناسلية عند إجراء التشيع كلما أمكن، كما أن مفهوم الجرعة الوراثية الأنجابية يكون ضيق جداً (GS.D) Genetically significant dose وهذه الجرعة توضح متى يكون الشخص أباً لأجيال تالية، فمثلاً السيدات فوق 50 عاماً فرصتهن في الإنجاب قليلة وبالتالي فإن مساهمتهم في (GSD) للزيادة السكانية قليلة وعلى العكس من ذلك في حالة الأطفال وصغار السن.

وأثناء العلاج بالإشعاع يكون هناك آثار جانبية معظمها يكون جسدي منها: إحمرار الجلد (erythema or Redding of skin)، تطاير الشعر، التقشر (ulceration)، تليف الرئة (stiffening of lungs)، تخرم الأنسجة (fistulas) Formation of holes in tissue، نقصان كرات الدم البيضاء (leukopenia) وحدوث قتامة في عدسة العين (Cataracts). وأسوأ ما يمكن أن يحدث من الآثار الجسدية البيولوجية هو وضع بدور السرطان (Carcinogenesis) في الجسم من أثر الإشعاع، وقد وجد أن أنواع كثيرة من السرطان تحدث وليس فقط سرطان الجلد، فعلاج الغدة الدرقية الغير آمن يصيبها بالسرطان (Thyroid) والإشعاع الموجه إلى مواد النمو في الدم (Bone marrow or Blood forming organ) يسبب سرطان الدم (leukemia)، وعلاج الأطفال بالأشعة السينية اللذين تضخمت عندهم الغدة الصماء وجد أن بعضهم عند بلوغهم سن الشباب كان مصاباً بسرطان الغدة الدرقية

المجاورة للغدة الصماء فى أسفل الرقبة، وقد وجد أن 117 حالة سرطان دم من أثار الانفجار النووي فى هيروشيما وناجازاكي، وسرطان الثدي أيضاً يسببه الإشعاع.

وحدات الأمان من الإشعاع

Radiation protection unit and limits

وحدة الرنتجين Roentgen هي وحدة قياس الإشعاع السيني والجامي ووحدتي البكريل (Bq) Becquerel، الكوري (Ci) curi وحدات قياس النشاطية الإشعاعية، ووحدة الجرعة الممتصة جراي (Gy) Gray، الراد Rad، وارتباط وحدة الراد بوحدة الريم Rem هي وحدات تستخدم فى الوقاية من الإشعاع وعددياً الراد يساوي ريم.

والرم هي وحدة الجرعة الكمية المكافئة (DE)(Quantity dose equivalent) وتعرف على أنها الوحدة بالراد مضروبة فى معامل الكفاءة (Quality Factor) (QF).

أي أن:

$$DE = Rads \times QF$$

ومعامل الكفاءة (QF) هو زيادة الآثار المحطمة لأي إشعاع.

وهذا يعني أن أثر الراد يختلف حسب نوع الأشعة المستخدمة من نوع شعاع إلى نوع شعاع آخر، أي أن الراد لشعاع شديد التأين يكون أكثر تحطيماً للخلايا من الراد للأشعة السينية والجامية وأشعة بيتا ولا بد له معامل كفاءة أعلى (large QF)، ويرتبط معامل الكفاءة (QF) بالآثار النسبي البيولوجي للإشعاع (RBE) وكلاهما (QF)، (RBE) ناتج من زيادة الآثار البيولوجية للأشعة شديدة التأين إلا أن (RBE) يختلف باختلاف النسيج المتأثر تحت تأثير نفس الشعاع فى الوقت الذى يكون فيه (QF) ثابت للشعاع الواحد بغض النظر عن النسيج المتأثر، وقيمة (QF) للأشعة السينية، والجاما والبيتا (الإلكترونات) هو الوحدة وبذلك يتساوي الراد والريم، النيوترونات (n) ذات

الباب الرابع- (الوقاية من الإشعاع)

الطاقة الأقل من (10Mev) يساوي 3 والأكثر (10mev) يساوي 10 ونفس القيمة للبروتونات (P) ولجسيمات ألفا والاجسام المنشطرة 20.

والجدول يوضح نوع الجرعة والوحدة المستخدمة في قياسها:

جدول (4-1)

نوع الجرعة الإشعاعية	وحدة القياس	التعريف/الرمز
1. النشاط الإشعاعي	Bequerel(Bq) (بيكريل)	1Bq defined as: one nuclear decay per second.
	Curi (Gy) (كوري)	Bequerel | Ci = 3.7×10^{10}
2. الجرعة الممتصة من الإشعاع بالوحدات العملية SI Units	Grey (Gy) جراي	1Gy defined as: 1 Joule of absorbed energy per kilogram \equiv 1J/kg
3. التعرض للأشعة السينية والجامية	Roentgen (R)	Roentgen (R) defined as: The radiation intensity required to product an ion Action charge of 2.58×10^{-4} coulombs/kg (air)
	Rad (r)	1rad is defined as: An absorbed dose of 1×10^{-2} Joule of energy/kg (tissue) \equiv 100erg/g
4. وحدة الجرعة المكافئة (DE)	Rem	The measure of the radiation dose interms of it's biological effectiveness in man. Multiplied by a (quality Factor) 1rem \equiv 1 rad X QF
		QF (α) = 20, 1 rad = 20 rems QF(x,r)= 1, so that: R, rad and ram are equivalen

وقد حددت الجرعة الثانوية من الإشعاع لجميع الأفراد بحيث لا تتعدى (0.17رم/السنة) وقد يصل هذا الحد للأفراد كل على حدة إلى (0.5رم/سنة)، أما العاملون في مجال الإشعاع فلا يجب أن يتعدى (5رم/سنة)، وهذه الحدود يسمح بها في حالة الأعضاء التناسلية والعيون، والأعضاء في الجسم الأقل حساسية بالنسبة للإشعاع مثل الأقدام والأيدي قد يصل الحد المسموح به إلى 75 رم/سنة للعاملين ويدخل ذلك ضمن الحد الأقصى المسموح به ((maximum permissible dose (MPD))، وهذه الجرعات يجب أن تقل عن ذلك حتي تكون الأمور آمنة دائماً، وخصوصا الشعاع

الساقط بشكل دائم كخلفية وهو (0.125 رم/سنة)، وأن التغير في (MPD) في قيمة المناطق التي بها محطات نووية وارد الحدوث.

أجهزة الوقاية من الإشعاع

Radiation protection instrumentation

نحتاج لأجهزة قياس الإشعاعات المختلفة الساقطة وذلك لتقدير الأخطار الناجمة عنها وللوقاية منها وهي أجهزة إستكشافية (Radiation monitors) والمستخدم منها للأشخاص تسمى (Personal monitors) ومنها المحمول (Portable monitors) والأكبر من ذلك (area monitors) والفكرة الأساسية التي بنيت عليها صناعة هذه الأجهزة هو تأثرها بالإشعاع بمعنى تأين الوسط من الإشعاع، وبعضها يعمل على تغيير لون الفلم، وبعضها يعمل على فكرة تكسير الروابط بين الجزيئات، أو يعمل على فكرة تخزين الطاقة في بلورة مادة صلبة تم تتبعت منه على شكل تفسفر، وبعضها يعمل على فكرة تغير معامل التوصيل الكهربائي وبعضها يعمل على فكرة أن الإشعاع يرفع درجة حرارة الوسط المار فيه أو يغير لون شاشة الجهاز (dyes).

ويستخدم الكشاف الكهروستاتيكي في الكشف عن وجود الإشعاع السيني حيث تبعد ورقته (Electroscope)، ويسمى بغرفة التأين (cutie pie) وبه يمكن التعرف على وجود إشعاع جاما وبيتا والأشعة السينية، إلا أنه غير حساس ولا يفيد في الكشف عن إشعاع الخلفية (Back ground)، ويستخدم في الكشف عن الإشعاع ذي المستوي العالي وفي حدود (5-0.01) رنتجن/ساعة.

وهناك جيل من غرف التأين يستعمل للأشخاص الذين يعملون في مجال الإشعاع، يسمى كاشف الجيب (Pocket ionization chamber) حيث يتم شحنه بجهد مناسب (مئات الفولتات)، وعندما يسقط عليها الإشعاع ينقص من قيمة هذا الجهد والجهد المتبقي يشير إلى كمية الإشعاع الذي تعرض له الكاشف.

◆ (الباب الرابع- الوقاية من الإشعاع) ◆

ويستخدم عداد جيجر لهذا الغرض حيث أن حساسيته أعني من الأجهزة السابقة ويستطيع أن يسجل إشعاع الخلفية في المدي (300-200 عدة /ساعة) إلا أنه لا يسجل تأين الهواء كما تفعل الأجهزة السابقة، وهو مزود بتدريج يقرأ بالمللي رونتجن/ ساعة، وقد صنع منه إجيلال صغيرة توضع في الجيب وتعطي صوتاً مسموعاً لكل مئات قليلة من العدات، ومن ثم يستخدم للتحذير.

وقد تطورت العدادات الوميضية (scintillation detectors) للإستخدام في الوقاية من الإشعاع حيث أن هذه الأجهزة حساسة في تحديد أشعة جاما، وتستخدم بالإضافة إلى ذلك في الوقاية من الإشعاع وفي تعيين نوعه أو تعيين أنواع عديدة من الإشعاعات المنبعثة من عينة واحدة.

وعدادات الإشارة (film Badges) يستخدمها العاملون في مجال الإشعاع حيث أنها بسيطة وقليلة التكاليف وتعطي سجلاً لا بأس به للجرعات الإشعاعية الساقطة عليهم وهي تستخدم للكشف عن أشعة جاما وبيتا والأشعة السينية، ومن سلبيات هذا الجهاز أنه يسجل الجرعات المنخفضة للأشعة السينية (فلم حساس) أكثر من أشعة جاما القوية وبأستخدام مصفاة خاصة (Special filter) يمكن تغطية هذا العيب ويمكن تعيين نوع الإشعاع الذي سجله عداد القلم الحساس، كما يمكن معرفة الجرعة المؤثرة في حينه من قراءة، المسجل على القلم.

وهناك مواد صلبة تعطي بلوراتها وميضاً (Thermoluminescence(TL)) إذا ما تعرضت للإشعاع مثل الفلورين (fluorite calcium fluoride) الذي يعطي كمية كبيرة من الوميض عندما يسخن نتيجة تعرضه لمواد مشعة بشكل تراكمي على مر السنين، وبذلك تستخدم هذه للكشف عن الإشعاع، حيث تعرض بلورة صغيرة من (LiF) لإشعاع مؤين الذي يخزن فيها بتحريك إلكترونات في ذراتها إلى مستويات عليا وتظل في وضع إتران مؤقت فإذا ما سُخنت البلورة فإن الإلكترونات هذه تعود إلى مواضعها الأصلية وينبعث من البلورة قدر من الضوء متناسباً مع مقدار التعرض. وتستخدم هذه الطريقة في تقدير الجرعات الوميضية (Thermoluminescent

(dosimetry (TLD)) ويصنع من هذا النوع كواشف شخصية وكواشف معلمية وأخرى كبيرة، والأخيرة هذه تستخدم فى محطات رصد الإشعاع بشكل دائم، كما تستخدم الأجيال الصغيرة منها فى رصد الإشعاع الذى يسقط على المرضى حيث يوضع داخل الجسم فى فراغات تسمح بذلك مثل المثانة والمستقيم وفتحات الجهاز التناسلي فى السيدات.

الحماية من الإشعاع فى الأشعة التشخيصية

Radiation protection in diagnostic radiology

تستخدم الأشعة السينية فى المساعدة على تشخيص المرض، وهى تعتبر أوسع الأشعة التشخيصية انتشاراً، ويمكن تقليل المستخدم منها بما لا يؤثر على المعلومات المطلوبة وذلك بوضع مواد ماصة للأشعة الضعيفة والتى إذا ما وصلت إلى جسم مريض يمتصها ولا تفيد فى التشخيص لضعفها ويمكن حساب هذه المصافي (Filters) بمعلومية ما يسمى بنصف القيمة (half- value) كما أن استخدام أفلام من نوع جيد وحساسية عالية يقلل زمن التعرض.

ويمكن تقليل التعرض للأشعة السينية بضبط النسبة بين مساحة مقطع شعاع الأشعة السينية ومقطع الفلم بحيث لا تزيد هذه النسبة عن الواحد الصحيح ومن الممكن أن تقل، أى مساحة مقطع الإشعاع لسيني بحيث يكون فى حدود مساحة الفلم أو أقل، والقانون الذى تخضع له هذه النظم لا يسمح لوحدة أشعة سينية بالعمل إذا لم يتحقق هذا الشرط.

وكذلك لا يجب أن تتعدى المساحة المعرضة للإشعاع السيني من جسم المريض حاصل ضرب مساحة مقطع الشعاع المستخدم (سم²) وقيمة الجرعة المستخدمة بالرتجين.

◆ (الباب الرابع) - (الوقاية من الإشعاع) ◆

كما يمكن تقليل عدد مرات التعرض للأشعة السينية لنفس الظروف (لنفس هدف التصوير) وذلك باستخدام فنيين مدربين لهم خبرة طويلة باستخدام الآلة، والقيام على صيانتها وضبطها فلا يحتاج لإعادة التصوير، ويساعد على ذلك عمل أرسيف يوضع فيه أفلام كل مريض لتجنب إعادة التصوير عند فقد الفيلم.

كما أن استعمال الأقفعة الواقعية (shielding) يساعد في تقليل التعرض الغير مرغوب فيه وخصوصاً حول وفي مناطق الجهاز التناسلي والعين وكذلك السيدات الحوامل خوفاً على الأجنة لأنها حساسة جداً وقد تتشوّه، ومن المفضل أن يتم التصوير بالأشعة السينية للحوامل إذا رُوي أنه الحل الوحيد والأخير ويستخدم في ذلك كل الأقفعة الممكنة والمحققة لأقصى درجات الأمان، وفي حالة الشك في الحمل فإنه يمكن التصريح باستخدام قاعدة العشرة أيام (10day rule) (مسموح بالتصوير خلال عشرة أيام من آخر دورة)، هذا وقد وجد أن الإسراف في استعمال الأشعة السينية والبعد عن القواعد السابقة يؤدي إلى زيادة الجرعة على المريض مما يؤدي إلى عدم وصول المعلومة بشكل جيد في التشخيص لتشتت الصورة، أي أن تشتت الصورة يؤدي إلى حصول المريض على زيادة في الإشعاع كما يؤدي إلى عدم وضوح الصورة، (The patient gets more radiation and the operator gets less information).

وحدات الأشعة السينية الحديثة تضبط ذلك أتوماتيكاً من حيث درجة الوضوح ودرجة التناقص غير أن أي خلل قد يعرض المريض إلى مزيد من الإشعاع وبذلك تكون المتابعة والصيانة والمعايرة للآلة في غاية الأهمية، كما يجب أن تزود الآلة بمقياس الجرعة المسمى راب متر (rapmeter).

الوقاية من الإشعاع عند العلاج بالإشعاع

Radiation protection in radiation therapy

تستخدم الإشعاعات المكثفة في العلاج لذلك تحفظ مصادرها في حظائر معزولة عزلاً تاماً بحيث تمتص كل الأشعة الصادرة من هذه المصادر في حالة عدم الاستعمال امتصاص تاماً. كما أنه في حالة التشغيل تعمل كل الاحتياطات بحيث تصل الجرعة

المطلوبة والمحسوبة للمريض المعين فى المكان المعنى دون سواء وفى غرفة العلاج لا يمكن لأحد من الدخول أثناء عمليات التشغيل وإذا حدث وفتحت الغرفة ليدخل أحد فإن فتح الغرفة يكون مجهز تجهيزاً جيداً لوقوف آلة العلاج، لحظياً، والمصادر نفسها يجب أن تكون معزولة عزلاً جيداً ويمكن حساب ذلك مثلاً لمصدر من الكوبلت Co^{60} ولقياس شدة الإشعاع المنبعث (I) من أي مصدر مشع فإنها تحسب من المعادلة:

$$I_{\gamma} = \Gamma N / D^2$$

حيث D هي المسافة بالمتر من المصدر الذى به N ميغا بكريل (MBq) أو كوري (curies) لمادة مشعة، Γ ثابت (gamma) لكل مادة مشعة يعتمد على عدد الطاقات الجامية للأشعة المنبعثة لكل عدة (أي $3.5 \times 10^{-5} \text{ Rm}^2 / \text{MBq.hr. for } Co^{60}$) ومن هذه المعادلة تتضح زيادة شدة الأشعة المنبعثة بنقصان المسافة.

ولحساب سمك العوازل اللازمة للوقاية من الإشعاع نستخدم المعادلة (معادلة الامتصاص أو معادلة التهدة):

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

حيث I شدة الشعاع الخارج من العازل الذى سمكه x، I_0 هي شدة الإشعاع الابتدائية، μ معامل الامتصاص الخطي والذى يرتبط بقاعدة نصف الطبقة بالعلاقة:

$$\mu = 0.693 / \text{HVL}$$

حيث HVL هي (half value layer).

ويعطى السمك بدلالة شدة الإشعاع بالمعادلة:

$$x = \frac{2.3 \log(I_0 / I)}{\mu}$$

وبذلك نصل إلى أن العزل المطلوب لمصدر كوبلت Co^{60} أن يوضع المصدر فى كرة من الرصاص قطرها 60سم وكتلتها عدة أطنان، والمرضى الذين يوضع لهم

الباب الرابع- الوقاية من الإشعاع

مصدر في أجسامهم فإنهم يظلون في داخل غرف العلاج (المستشفيات) لمدة معينة تؤدي إلى العلاج المطلوب وتقي الآخرين شر الإشعاع الصادر منهم، كما، هذه الغرف يجب أن تكون تحت الملاحظة بل والمراقبة الدائمة ويجب أن تكون هيئة التمريض على أعلى درجات التدريب ويتلخص ذلك في:

1. تقليل وقت الاتصال بالمريض إلى أقل فترة زمنية ممكنة.
 2. زيادة المسافة الفاصلة بين المريض والمتعامل معه.
 3. استخدام الجدران العازلة (shielding)، كلما أمكن ولو كانت متحركة، كما أنه يجب التأكد من المريض الذي يعالج، بإبر الراديوم أنه لم يفقد أحدهم.
- والمرضي الذين يعالجون بزراعة الحبوب المشعة (seeds) من غاز الرادون أو الذهب Au^{198} أو المرضي الذين تم علاجهم باليود المشع I^{131} يجب الإبقاء عليهم داخل غرف العلاج حتي تتأكد أن مستوى الإشعاع قد هدى إلى المستوى الآمن.

الوقاية من الإشعاع في الطب النووي

Radiation protection in nuclear medicine

في الطب النووي على المعالج إتباع ما يلي:

1. أي نوع من الإبحاث هي الأنسب.
2. استخدام الدواء من الجرعة الإشعاعية المناسبة.
3. استخدام الكميات المناسبة من الجرعات الدوائية الإشعاعية وبالنسبة لمصدر Tc^{99m} لابد من معايرته.
4. تقديم الجرعة الدوائية الإشعاعية المناسبة للمريض المناسب، وتفاذي أي خطأ خصوصاً في وجود زحام.

5. التأكد من أن أجهزة قياس الإشعاع الخارج من الجسم تعمل بكفاءة تامة واستخدام الاختبارات القياسية باستعمال مصورة الجاما أو الماسح الخطي.

ومعظم المواد المشعة المستخدمة تشع أشعة جاما وبذلك يكون العزل الإشعاعي خاص بأشعة جاما ذات قوة الاختراق الكبيرة، أما المصادر الباعثة لأشعة بيتا فإنها تمتص في مللي مترات قليلة في الأنسجة تحت العلاج.

كما أنه من الوقاية من الإشعاع ملاحقة الحوادث الإشعاعية والعمل على إزالة آثارها، ومثال ذلك:

1. إذا لم يتمكن المعالج غلق حظيرة المصدر في الوقت المناسب أو أن المصدر المزروع في جسم مريض. حددت جرعته خطأ بالزيادة، أو أن إير الراديوم كسرت وابتلع المريض جزء منها أو أن المريض تقياً الجزء المبتلع في مكان لم ينتبه له الأمر الذي يمثل خطورة كبيرة.

2. طرق تخزين واستلام المواد المشعة المسلمة إلى مراكز العلاج إذا لم يكن القائم عليها خبير فإن الأمر يُمثل حادثة.

3. نقل مصادر الإشعاع من حظائرها إلى موقع الاستعمال والعكس.

4. نظافة مكان المصادر الإشعاعية المعروفة وغير المعروفة، وملاحقتها بأجهزة الكشف وتقدير كمية الأشعاعات من حيث أنها آمنة أم خطيرة.

5. وفي حالة وجود خلل في وحدة الكوبلث Co^{60} فإن المريض يجب أن يترك غرفة العلاج مباشرة ويغلق المجمع المستخدم لمحاصرة الإشعاعات الصادرة عنه.

6. في حالة إير الراديوم يجب أن تتأكد من أن جزء منها لم يتحول إلى غاز رادون وذلك بوضع إحداها في أنبوبة اختبار وغلقها بقطعة من القطن ثم بعد يوم يختبر القطن أن كان به أثر إشعاع أم لا (الأثر لا بد أن يكون رادون).

ولذلك يفضل استخدام $^{137}\text{cesium}$ (Cs).

الباب الخامس

فيزياء الأشعة السينية العلاجية

Physics of diagnostic x-ray

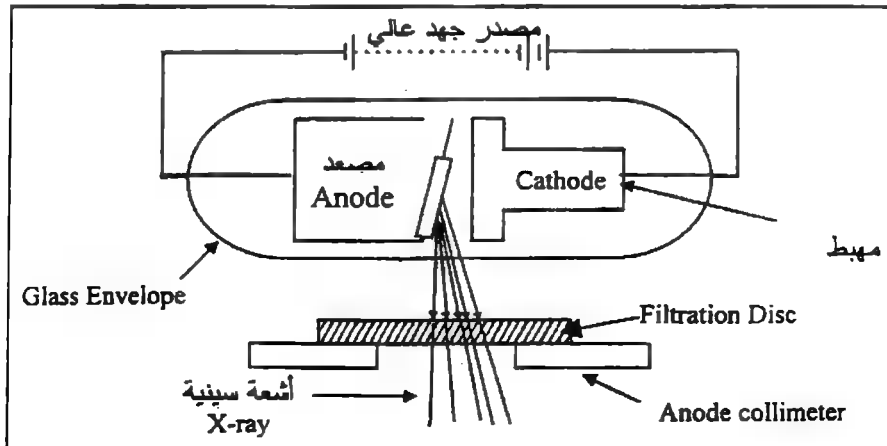
الباب الخامس

فيزياء الأشعة السينية العلاجية

Physics of diagnostic x- ray

مقدمة:

الأشعة السينية أشعة كهرومغناطيسية تمثل جزء من الطيف الغير مرئي ويمكن الحصول عليها بقذف مادة صلبة ثقيلة بسيل من الإلكترونات المعجلة في محيط مفرغ، وعند تصادم الإلكترونات بالمادة الصلبة فإن الأشعة السينية تنبعث لإختراق الإلكترونات المعجلة إلى داخل ذرات المادة الصلبة وتؤثر على إلكتروناتها الداخلية الأمر الذي يؤدي إلى إنتاج موجات قصيرة ذات طاقات عالية هي الأشعة السينية، والشكل (5-1) يوضح ذلك.



شكل (5-1)

والأجهزة الحديثة تُصنع المصعد بحيث يسهل إدراته وبالتالي تتغير نقطة التصادم بين الإلكترونات والمصعد فيقل الأثر الحراري على المصعد فضلاً على تزويد الأجهزة بأنظمة التبريد حتي لا يتأثر المصعد. والأشعة السينية المنبعثة تعتمد على مادته، وكلما زاد العدد الذري لمادة المصعد تزداد كفاءة الأشعة السينية الناتجة، ومن الأفضل أن تكون نقطة انصهار مادة المصعد عالية (معظم الأجهزة تستخدم مادجة المصعد من عنصر التنجستين (Tungsten) حيث عدده الذري 74 ونقطة انصهاره 3400°م كما تستخدم مساحة مقطعه كبيرة أو صغيرة).

وسيل الإلكترونات الذي يصطدم بالمصعد ويصل عدد قليل من هذه الإلكترونات ذات الطاقات العالية جداً في الغلاف الذري إلى عمق الغلاف ويفقد طاقته في انتزاع أحد إلكترونات المستوي الطاقى (k) ليصبح مكانه شاغراً لا يلبث أن يشغله أحد إلكترونات من المدارات الخارجية. فإن شغل بالإلكترون من المدار L فإن الأشعة السينية الناتجة تسمى K_{α} وإذا حدث ذلك من إلكترون من المستوي M فإن الإشعاع السيني يسمى K_{β} ، ونظراً لأن هذه الانتقالات مستمرة باستمرار في الإلكترونات من المهبط إلى المصعد فإن الأشعة السينية المنبعثة باستمرار خروجها، وطيف الأشعة السينية الذي يخرج من الانتقالات هذه يسمى طيف الأشعة السينية الخطي وعادة يكون متراكب مع طيف آخر ينتج من تأثير الإلكترونات المعجلة على اهتزازات أنوية مادة المصعد وأثناء هذه الاهتزازات يعطي أشعة سينية تسمى بالطيف المستمر للأشعة السينية ويسمى بإشعاع الفرملة (white radiation or brake radiation or bremsstrahlung).

امتصاص الأشعة السينية

X- ra absorption and contrast media

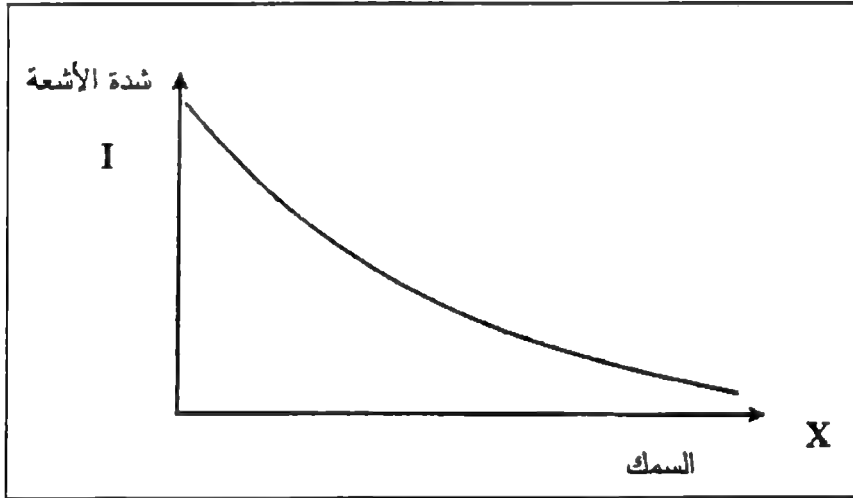
يختلف امتصاص الأشعة السينية من مادة إلى أخرى، فالعناصر الثقيلة مثل الكالسيوم تمثل عناصر جيدة لامتصاص الأشعة السينية عن العناصر الخفيفة مثل

◆ الباب الخامس- فيزياء الأشعة السينية العلاجية ◆

الكربون والأكسجين والهيدوجين، ولذلك فإن المركبات التي تحتوي على عناصر ثقيلة مثل العظام إذا سقطت عليها الأشعة السينية تظهر بوضوح أما الأنسجة اللينة والعضلات والدهون فهي تمتص الأشعة السينية بنسبة متساوية ولذلك لا يمكن التمييز بينهما في صورة الأشعة السينية.

وامتصاص الأشعة السينية واستطارتها يؤديان إلى تهدئة وتقليل طاقة الأشعة السينية (attenuation) فإذا سقطت الأشعة السينية على مادة سمكها "x" ومعامل امتصاصها (معامل التهدئة) α (معامل التهدئة) فإن شدة الأشعة السينية الساقطة (I_0) وشدها النافذة من الجانب الآخر للمادة "I" يمكن التعبير عنها بواسطة العلاقة الآتية والتي تعرف:

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$



شكل (5-2)

وبزيادة سمك المادة (x) التي تخترقها الأشعة السينية تقل شدتها النافذة كما في شكل (5-2).

ونصف سمك الطبقة (Half - value layer (HVL) لإشعاع سيني هو سمك

المادة التي تمر فيها الأشعة السينية فتقل شدتها بمقدار النصف.

فإذا ما تضاعفت يسمى بالنصف الثاني، وترتبط قيمة نصف سمك الطبقة (HVL) مع معامل التهدة أو معامل الامتصاص (α) بالعلاقة:

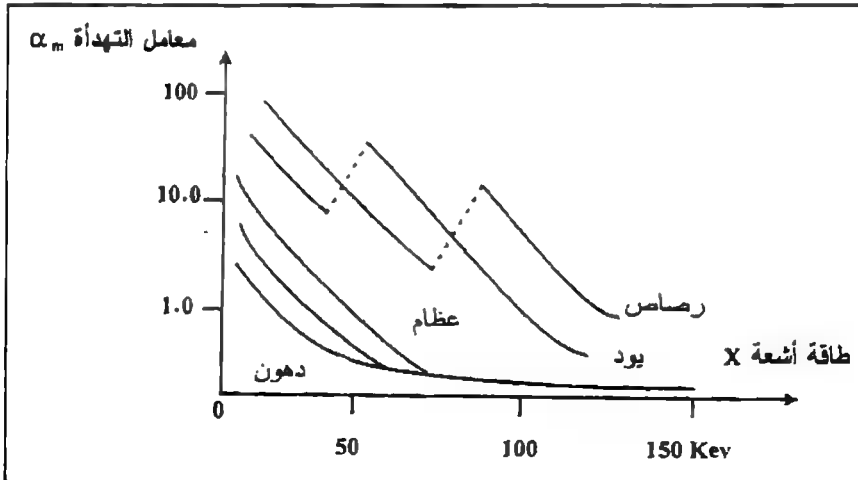
$$HVL = \frac{0.693}{\alpha}$$

وقيمتها للألمنيوم 2.5 مم وهي للرصاص 0.1 مم ولذلك يستخدم الرصاص كدروع واقية من للإشعاعات المنبعثة، وقد وجد أن رقيقة من الرصاص سمكها 1.5 مم تقلل شدة الإشعاع السيني بمقدار 30.000 مرة من قيمة الشعاع الساقط عليه.

ويمكن كتابة معادلة الامتصاص السابقة بمعلومية معامل التهدة الكتلي أو معامل الامتصاص الكتلي (α_m)، وهو يساوي معامل التهدة الخطي مقسوماً على كثافة المادة (ρ).

$$I = I_0 e^{-\alpha_m \rho x}$$

والكمية ρx تسمى كثافة المساحة (density of area) وذلك لكونها جرام/سم².



شكل (5-3)

◆ الباب الخامس- فيزياء الأشعة السينية العلاجية ◆

وشكل (3-5) يوضح العلاقة بين معامل التهدئة الكتلي α_m بمعلومية طاقة الأشعة السينية التي تمر في العضلات، الدهون والعظام، واليود، الرصاص، وقد وجد أن اليود أكثر إمتصاصاً للأشعة السينية في المدى 50-100 كيلو إلكترون فولت (Kev) من الرصاص، وهذه الظاهرة تحدث بسبب التأثير الكهروضوئي (photoelectric effect) والتأثير الكهروضوئي هو إحدى الطرق التي تفقد الأشعة السينية به طاقتها في الجسم ويحدث ذلك عندما تفقد الأشعة السينية طاقتها لأحد الإلكترونات وتؤدي إلى هروبه من ذرته، وهذه الظاهرة كثيرة الحدوث في العناصر ذات العدد الذري الكبير (الكالسيوم) وأكثر من العناصر التي عددها الذري أقل، الأشعة السينية اللازمة لتحرير إلكترون لابد أن تكون طاقتها أكبر من طاقة ربط الإلكترون (electron binding energy)، والإلكترونات المستوي (k) طاقتها في حدود 33(kev) لليود، وللرصاص 88(kev) ولذلك يمتص اليود الأشعة السينية في الفرق الطاقى بين العنصرين أكثر من الرصاص حيث تتحرر إلكتروناته في المستوي (k) أسهل. وقد لوحظ أنه عند زيادة طاقة الأشعة السينية عن طاقة ربط الإلكترونات فإن احتمالية حدوث ظاهرة التأثير الكهروضوئي يزداد وعند بداية هذه الزيادة يرتفع معامل التهدئة الكتلي α_m وتزداد قيمته وتسمى هذه الزيادة المفاجئة بالحافة، (K edge) هذه الحافة لليود 33(kev)، وللرصاص 88(kev)، والعناصر الموجودة في العظام والعضلات والدهون لها حافة (K edge) ولكن قيمتها قليلة فهي للكالسيوم (5kev).

وتأثير كمبتون (Compton effect) عملية أخرى تفقد فيها الأشعة السينية طاقتها، وفيها يتم التصادم بين الأشعة السينية والإلكترونات الأقل تقيداً أو أقل ارتباطاً. وعند التصادم يُعطي الإلكترون جزء من طاقة الأشعة السينية والمتبقي يتحرك به الفوتون المستطار والذي يتحرك بعد التصادم في اتجاه مغاير لإتجاه الشعاع السيني الأصلي. والطاقة التي يكتسبها الإلكترون يمكن حسابها بقانون بقاء الطاقة وبقاء كمية الحركة (laws of conservation of energy and momentum)، وعدد التصادمات في تأثير كمبتون يعتمد على عدد الإلكترونات في واحد سم³، الذي يتناسب

مع الكثافة. وقد وجد أن جرام واحد من العظام يحتوي من الإلكترونات ما يحتويه جرام واحد من الماء. والعلاقة α_m مع طاقة الأشعة السينية للعظام والعضلات والدهون يوضح أن تأثير كمبتون يأخذ مكانه في العناصر التي عددها الذري قليل مثل الماء، والأنسجة اللينة. وفي حالة العظام يكون تأثير كمبتون أكثر احتمالاً من التأثير الكهروضوئي عند طاقات الأشعة السينية الأعلى من (100 kev).

والتفاعل الذي يؤدي إلى إنتاج أزواج من الإلكترونات والبوزيترونات عملية أخرى لامتناص الأشعة السينية، وذلك يحدث عندما يمر فوتون طاقته عالية في مجال كهربائي لنواة شدته عالية على أن لا تقل طاقة الفوتون عن 1.02 مليون إلكترون فولت، أما إذا توفرت طاقة للفوتون أكثر من ذلك فإن هذه الوفرة تعطي للجسمين الناتجين (pair production) كطاقة حركة وبذلك يعتبر كل من الإلكترون والبوزيترون الناتجين أدوات تهدئة للأشعة السينية. وبعد انتهاء طاقتيهما الحركية فإن كلاهما يندمجان في رقصة الموت (death dance) وتنتهي حياتهما وكتلتهما وتظهر في شكل فوتون كتلة الواحد منه (0.511 Mev) وتسمى هذه العملية بعملية فناء الإشعاع (annihilation radiation).

وهذه العملية تحدث في المواد التي عددها الذري كبير، ولفهم دور هذه العملية في العلاج علينا أن نعلم أن العظام تمتص الأشعة السينية التي طاقتها (30kev) فولت أكثر من الأنسجة بما يساوي سبع مرات وذلك للتأثير الكهروضوئي، ولجعل الاستفادة أكثر من ذلك فلا بد من حقن المريض بمادة عددها الذري أكبر مما هو كائن وذلك لإحداث ما يسمى بوسط التناقص (contrast media) في مواضع مختلفة من الجسم، ولذلك تحقن مركبات تحتوي اليود في الدم ليسهل رؤية الشرايين في صور الأشعة، كما يرش زيت لزج يحتوي اليود في الرئتين حتي نري الممرات الهوائية بها (airways) وتعطي مركبات الباريوم (barium compounds) عن طريق الفم لإيضاح الجزء العلوي من الأمعاء، وحقن الباريوم الشرجية لإيضاح الطرف السفلي للجهاز الهضمي، وقد يستخدم الهواء كوسط تناقص (contrast media) في الرئة.

فى الحالات التى تساعد فيها المقارنة على التشخيص الدقيق تستعمل آلية تسمى آلية الأقصاء (subtraction Technique) وفيها يصور الجزء من الجسم تحت الاختبار بالأشعة السينية قبل حقن وسط التناقص، ثم يصور مرة أخرى بعد الحقن ويتم الإقصاء بالمقارنة ويتم التشخيص الدقيق.

صور الأشعة السينية X - ray images

من المسلم به أن صور الأشعة السينية لا يمكن مباترتها (focusing) كما نفعل باستخدام المصورات العادية، وذلك لكونها صور للظل الذى يقع على الغشاء الحساس (فلم).

وهذا الظل هو ظل التراكيب المختلفة للجسم وتسمى عملية التصوير هذه خيال الظل (shadow graphs or skiograph) وكلما كان ظل الجزء المراد تصويره فى الجسم محدداً وواضح كلما كانت صور الأشعة السينية واضحة ومعبرة.

واستخدام مصدر ضوئي نقطي فى التصوير العادي يعطي فرصة لتقليل مناطق شبه الظل التى تتكون من جراء استخدام مصدر ضوئي مساحة سطحه كبيرة، كما أنه يلاحظ إذا مر الضوء المستخدم فى التصوير على حاجز به ماء فإنه يمتص جزء منه وتسبب فى استطارة معظم الضوء الذى لم يمتص ومن ثم يظهر الظل شاحب.

وهذه العوامل نفسها يجب أن تراعى عند التصوير بالأشعة السينية حيث يستخدم مصدر أشعة سينية نقطي البؤرة (focal spot)، ويكون المريض ملاصق للفلم الذى يلتقط الصور، وتكون المسافة بين الفلم ومصدر الأشعة السينية أكبر ما يمكن، ويقلل كمية الإشعاع المستطار من الفلم بقدر الإمكان، كما يجب أن لا يتحرك المريض أثناء التصوير.

ويجب أن نلاحظ أن الاسراف فى أبعاد مصدر الأشعة السينية عن الفلم يقلل شدته ونحتاج إلى وقت تعرض أكبر الأمر الذى يعطي فرصة لحركة المريض وأن كان ذلك

قد يفيد في منع الأثر الضار وخصوصاً عند تصوير الصدر حيث تكون المسافة بين المصدر والفلم في حدود 175سم.

وعند تصوير أجزاء سميكة من الجسم مثل البطن والورك فإنه من الضروري تقليل كمية الإشعاع المستطارة عند الفلم والذي يعتمد أساساً على طاقة المصدر إلا أن سمك النسيج الذي يمر فيه الشعاع عامل هام جداً حيث أنه كلما زاد سمك النسيج زاد المستطار من الإشعاع. ويمكن تقليل الاستطارة بتقليل الإشعاع بقدر الإمكان، ويتم ذلك باستخدام شبكة من شرائح من البلاستيك والرصاص، وتصمم هذه الشبكة بحيث تسقط الأشعة غير المستطارة على شرائح البلاستيك وتصل إلى الفلم وتظهر صورتها أما الأشعة المستطارة فتسقط على الرصاص وتمتص، ويجب أن تكون شرائح الرصاص في هذه الشبكة رفيعة بقدر يجعل ظلها لا يتداخل مع ظل ما يراد تصويره من أجزاء الجسم أو قد تكون متحركة فلا يثبت ظلها ولا يكون له أثر على الصور الملتقطة، ويجب أن نلاحظ أن جزء من الإشعاع غير المستطار من الممكن أن يمتص في الرصاص ويؤثر ذلك على وضوح الصورة الأمر الذي يوضح قيمة دقة التصوير، ويحدث هذا عندما تكون المسافة بين الفلم والمصدر كبيرة نسبياً، وإذا ما قورنت صورتين بالأشعة السينية أحدهما أخذت باستخدام الشبكة والأخرى بدونها فإن الأولى تكون أشد وضوحاً وتساعد في التشخيص.

هذا ويراعي زيادة وقت التعرض في مثل هذه الصور لزيادة درجة سواد صور الظل (الكثافة الضوئية) وقد يعوض إستطالة وقت التعرض ما أمتصته الشرائح الرصاصية من الإشعاع غير المستطار، وعند تصوير الصدر، يجب أن يمسك المريض عن التنفس حتى تقل حركته، وكذلك صور القلب تكون إلى حد ما قليلاً الواضوح بسبب الحركة التي لا مناص من حدوثها، والممكن فقط هو تقليل وقت التعرض بقدر الإمكان واستخدام مصدر طاقة عالية (تيار كهربائي عالي الجهد) لتكسب شدة الأشعة السينية كبيرة جداً.

والأشعة السينية تلتقط صورها على فلم خاص يوضع بين شاشتين مقويتين

◆ (الباب الخامس- فيزياء الأشعة السينية العلاجية) ◆

-جَنَاع (sand- wicheed tightly between two intensifying screen) من خورق المقوي (Cardboard's) ومغطاة بطبقة بلورية (مثل $Ca\ Wo_4$) التي تمتص الأشعة السينية بشراهة وتمنع مرور أو نفاذ الأشعة فوق البنفسجية، وهذا الفلم مغطى من كلا سطحيه بمادة حساسة للضوء وكل سطح يسجل صورة من خلال الشاشة تعقوية الملاصقة له، وأثر هذه الشاشة يؤدي إلى تحسين صور الأشعة السينية أكثر مما لو كان الفلم وحيداً بدونهما رغم أن درجة وضوح الصور تتأثر شيء ما، والشاشتين هذه توضع في حامل (cassette) مبطن بلبلاذ لضمان التلاصق بين الفلم والشاشتين.

وللحصول على درجة تلاصق أعلى يستخدم حامل مفرغ الهواء (vacuum cassette) وهذا يساعد الفلم على تسجيل أدق التفاصيل وبأعلى درجة وضوح وتستخدم في التعرف على وجود الأورام من عدمه في المنطقة تحت الاختبار. (e.g cancer) والأفلام المصورة بالأشعة السينية لابد أن تعالج كيميائياً بطريقة صحيحة لإستظهار الصور المطلوبة وإلا ذهبت هباء، ويراعي في ذلك وقت صلاحية الكيماويات المستخدمة ودرجة حرارة المحاليل المستخدمة، وإذا كانت هذه العملية تتم بشكل أوتوماتيكي كما يحدث اليوم فلا بد من التجريب في فلم ما قبل البدء في الأفلام الأساسية للتأكد من الصلاحية لكل شيء.

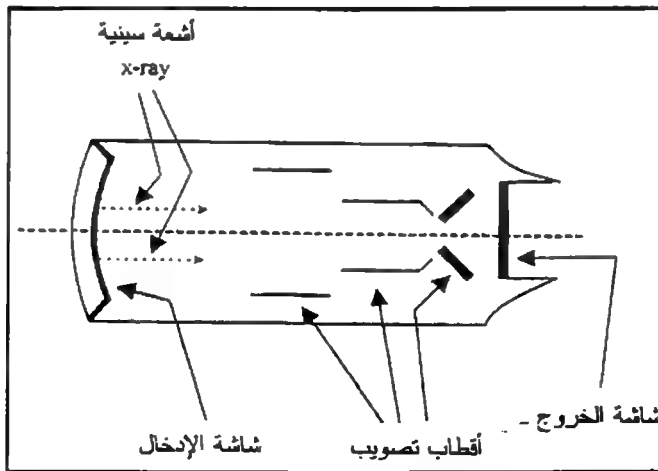
الصور الحية بالأشعة السينية

Live x- ray images- fluoroscopy

معروف أنه إذ سقطت الأشعة السينية على رقيقة مغطاة بمادة فسفورية فإن صور الأشعة السينية تُرى بشكل مباشر على شاشة فسفورية والتصوير الفلورسكوبي (fluoroscopic) مفيد في حالة الحركة مثل ما يحدث عند استخدام أوساط التناقض (contrast media) على طول المسار الهضمي digestive trac، لتشخيص حالته، وهذا النوع من التصوير الحي يستخدم في المستشفيات لتقليل النفقات.

والشاشات المعدة لإظهار هذه النوع مغطاة بمادة تتفسر باللون الأصفر عند سقوط الأشعة السينية عليها كما أنها مغطاة بطبقة من الرصاص الزجاجي تمتص كل ما يسقط عليها من الإشعاع، إلا أن الضوء الناتج في عملية التصوير الفلوروسكوبي يكون ضعيف جداً لذا يراها المعالج بحواس الرؤية الليلية وهي العصيات (rodes) وذلك لأن حساسيتها تزيد على حساسية المخاريط ألف مرة إلا أنها لا تری التفاصيل بدقة، ونظراً لأن العصيات (rodes) قليلة الإحساس باللون الأحمر فإن المعالج يلبس نظارة حمراء لمدة 35 دقيقة على الأقل قبل النظر على الشاشة حتى تتأقلم رؤيته على الرؤية في الظلام (dark - adapt)، وبعض المعالجين يلجأ إل زيادة طاقة الإشعاع السيني حتي تظهر الصور أشد وضوحاً إلا أن هذه الطريقة تؤثر على المريض والمعالج في آن واحد لكونهما إستقبلاً جرعات زائدة من الإشعاع لا تفيد في التشخيص وقد تضر.

ولتغطية ضعف الإشعاع الذي يصدر في التصوير الفلوروسكوبي النمطي أو التقليدي لضعفه فإن طريقة تكبير الصورة (image amplifier) بإستخدام أنبوبة تكبير الصور (image intensifier tube) قد استخدمت، وهذه الأنبوبة تكون كما في شكل (5-4):



شكل (5-4)

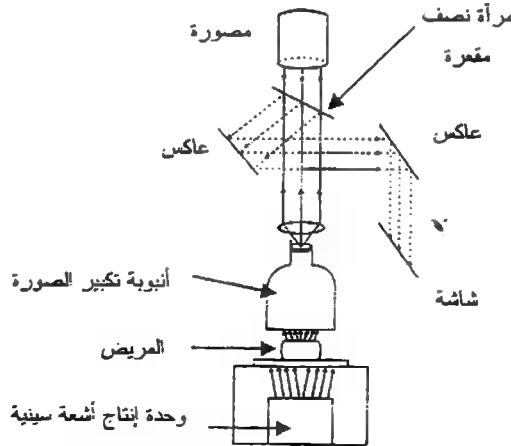
◆ (الباب الخامس) - فيزياء الأشعة السينية (العلاجية) ◆

تسقط الأشعة السينية على شاشة الإدخال الفسفورية (fluorescent input screen) داخل صمام مفرغ وهي تتكون من عدة طبقات على قاعدة (A_1)، طبقة فسفورية، ومهبط حساس ضوئياً ينفصل عن الطبقة الفسفورية بطبقة واقية.

فعند تصادم الأشعة السينية مع شاشة الإدخال ينتج فوتونات (شكل 4-5) ضوئية تصطدم بالمهبط الضوئي (photocathode) حيث تتحرر بعض الإلكترونات بالتأثير الكهروضوئي التي تعجل في اتجاه شاشة أخرى هي شاشة الخروج (output screen) بجهد عالي (25 ألف إلكترون فولت) حيث يثير كل إلكترون عدداً من الفوتونات الضوئية على هذه الشاشة وتري صورة مكبرة على الشاشة بالعين المجردة ويمكن تصويرها على أفلام سينمائية أو فيديو باستخدام مصورات مناسبة.

وقد أدى ذلك لمساعدة المعالج ليري الصورة بمحسات الرؤية النهارية والتي تساعد على رؤية التفاصيل.

وهذه الآلية تساعد في الحصول على تسجيلات وأفلام تساعد العملية التعليمية، كما يمكن استخدام مصورات تلفزيونية لتوصيل الإرسال إلى أكثر من محطة لتعميم الاستفادة في مناطق عديدة في الأغراض التعليمية، كما أن ذلك لا يعرض المعالج إلى أية جرعات إشعاعية، الشكل (5-5) يوضح إحدى خطوات العمل بهذه الطريقة.



شكل (5-5)

الأشعة السينية المقطعية x-ray slices

فى صور الأشعة السينية العادية يظهر ظل كل الأجسام التى تعترض طريقة الأشعة السينية وبذلك قد يُخفى ظل التراكيب العادية الجزء تحت الاختبار ظل التغيرات التى يحدثها وجود مرض، ولتفادي ذلك فإن صور الأشعة السينية لنفس المنطقة تُلتقط من زوايا وإتجاهات مُختلفة، وقد وجد أن الأشعة السينية فى قطع متتالية أو تصوير الجسم أجزاء متتالية أو للجزء من الجسم تحت الاختبار (The body section radiography) يعطي نتائج أفضل ويسمى توموجرافي (Tomography) وبه يمكن التفرقة بين أنواع الظل المختلفة سواء من تراكيب أو تغير فى التركيب بسبب أمراض وقد يكون التصوير التوموجرافي آلياً أو بإستخدام الحاسب (Computerised Tomography).

ويتم ذلك بربط مصدر الأشعة السينية وحركة الفلم بنظام واحد للحركة، وبذلك يقع ظل التراكيب فى المستوى المطلوب للمريض (مستوي القطع The plane of the cut) عند نقاط محددة على الفلم ويتم تصويرها بوضوح، والظل الذى يقع أعلي أو أسفل هذا المستوى يكون غير واضح فى الصورة ويمثل خلفية للصورة الواضحة عند مستوى القطع.

والتصوير التوموجرافي المحوري (Axial Tomography) وهو صورة مقطعية للجسم يتم إنقائها بإدارة مصدر الأشعة السينية والفلم حول جسم المريض، ويفيد هذا التصوير فى عمل مخطط علاجي للسرطان (Cancer) بإستخدام الإشعاع، وهو فى الغالب يقارن بصورة لنفس الجزء قبل المرض، وقد تطور وأصبح التصوير المحوري التوموجرافي بالحاسب (computerized tomography (CT) or computerized axial tomography (CAT) وتستخدم هذه الطريقة فى الحصول على الصورة المقطعية للرأس، ويتم ذلك بإستخدام وحدة أشعة طاقتها عالية (140 كيلو إلكترون فولت) تعطي شعاعين من الأشعة السينية الدقيقة المقطع (narrow beam)

◆ (الباب الخامس) - فيزياء الأشعة السينية (العلاجية) ◆

وذلك لعمل مسح شامل لرأس المريض خطياً، والأشعة النافذة من الجانب الآخر للرأس تسجل على كاشفين (Two detectors) تتحركان مع حركة الأشعة السينية ولكن في الاتجاه المضاد، وكل النتائج تخزن في ذاكرة الحاسب وبعد الانتهاء من عمل دورة حول الرأس ترفع أنبوبة الأشعة السينية والكواشف درجة واحدة وتكرر العملية كلها عدة مرات وفي كل مرة تخزن النتائج في ذاكرة الحاسب، وبعد عمل 180 دورة والتي تستغرق حوالي 5 دقائق فإن الحاسب يحلل النتائج ويعطي شكلاً على توزيع الكثافة في الشرائح. والمعالج يستطيع الإبقاء على النتائج كأرقام أو يطلب الحصول على صورة ممثلة للتغير في الظلام الممثلة لتركيبة الرأس، والأرقام التي نحصل عليها تكون في المدى 500- إلى 500+ أي من كثافة الهواء إلى كثافة العظام المتجانسة جداً (متماسكة) Compact bone، وتأخذ كثافة الماء صفر وفي حالة طلب صورة يضبط الجهاز بحيث يغطي المدى من الأسود إلى الأبيض كل درجات الظلال حتي يُعطي صورة دقيقة يوضح فيها الاختلاف في الظلال والذي قد يكون أقل من 1%.

وقد تم تطوير أجهزة الأشعة السينية المقطعية لتغطي جميع أجزاء الجسم وتتم عملية المسح الشامل في وقت أقل بكثير من خمسة دقائق ويكون في حدود 25 ثانية، حيث وجد أن التصوير بالأشعة السينية المقطعية للجهاز التنفسي يصعب الإمساك عن التنفس أكثر من ذلك الوقت، والآلية التي تستخدم في ذلك هو مصدر أشعة سينية مُجمع (collimated) بشكل مروحة (fun shape) مع استخدام كواشف عديدة لتسجيل الأشعة النافذة من الجانب الآخر.

التصوير الإشعاعي بدون شريط (فلم)

Radiographs without film

استخدام التصوير بدون فلم فيما يعرف بزيروكسي (Xeroxing) وذلك باستخدام الشحنات الكهربائية، وكذلك فكرة الزيروكسي للحصول على صور بالإشعة السينية تسمى زيرو راديوجراف (xeroradiograph)، وفيه يستخدم لوح حساس مغلف من

مادة السيلينيوم (se) selenium بدلاً من الفلم المعروف لتسجيل الصور، ويشحن هذا اللوح بشحنة موجبة بشكل متجانس ويثبت في حامل محكم لا ينفذ إليه الضوء tight- light cassette ويوضع في مكان الفلم العادي.

والأشعة السينية النافذة من المريض تسقط على لوح الزيروكسي ويمرر جزء من الإلكترونات التي تتعادل مع جزء من الشحنات الموجبة، والمساحات من لوح الزيروكسي تحت الأجزاء السميكة من الجسم تحتفظ بمعظم الشحنات الموجبة (لا تتعادل) بينما الأجزاء التي تحت الأجزاء الرقيقة من الجسم تتعادل، بعد ذلك يرش لوح الزيروكسي بمسحوق أزرق غامق (fine dark blue powder) مشحون شحنة سالبة، وبالتالي تنجذب الأجزاء المحتفظة بشحنتها الموجبة وتعطي صورة موجبة للجسم الذي عرض للأشعة السينية (positive image of x- rayed object)، وإذا ما أريد الحصول على صورة سالبة بدلاً من الصورة الموجبة فإن المسحوق يكون مشحون بشحنات موجبة عند ذلك تنتقل الصورة سواء كانت موجبة أو سالبة على ورقة مغطاة بطبقة رقيقة من البلاستيك بواسطة الحرارة وتأخذ للإطلاع والاستخدام والتخزين، بعد ذلك يفرغ لوح الزيروكسي من مضمونه ويستعد لصورة أخرى.

أثناء عملية التصوير الزيروجرافي تحت تأثير أشعة X- فإن الأجزاء التي تحتفظ بشحنات قليلة غير متعادلة تنجذب إلى حواف الأجزاء التي تحتفظ بشحنات كثيرة غير متعادلة والقريبة منها وتعطي إظلام يحدد الحافة بشكل جيد ويحدث تأثير مساعدة الحافة (edge enhancement effect) في الأجزاء التي احتفظت بشحانتها الأصلية، وبسبب هذا التأثير (تأثير الحافة) يكون التصوير الزيروراديوغرافي أفضل في إيضاح معالم وتفاصيل الأجزاء السميكة من الجسم من صورة الأشعة السينية العادية.

ومن سلبيات هذا النوع من التصوير أنه يحتاج إلى وقت تعرض أكبر.

الباب السادس

الضوء في الطب

Light In Medicine

الباب السادس

الضوء فى الطب

Light In Medicine

مقدمة:

رغم تقدم الإنسان فى تصنيع مصادر ضوئية كثرة إلى أن الشمس مازالت هي المصدر الرئيسي للضوء فى كوكبنا، وطيف الضوء يحتوي على ما هو منظور، وغير المنظور.

وللضوء خواص من بينها:

1. سرعة الضوء سرعة عالية جدا ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) وهي تتغير عند مرور الضوء من وسط إلى وسط آخر. والنسبة بين سرعة الضوء فى الفراغ وسرعته فى وسط ما تسمى معامل إنكساره n Refractive index والضوء يحيد عن مساره أو يرتد إذا صادف عائق فى طريقه، وهذه الخاصية تمكننا من تصويب الضوء ورؤية الأشياء بوضوح، وذلك ما يحدث فى حالة رؤية أجزاء الأذن أو البلعوم.
2. الضوء يسلك سلوكا موجيا فيعطي التداخل والاستقطاب والحيود كما يسلك سلوكا ماديا ويمتص بواسطة جزيئات وسط ما، وعندما يمتص الكم الضوئي فإن طاقته تستخدم فى أشياء كثيرة، فهي تسبب تغيرا كيميائيا فى الجزيء الذى بدوره يتحول إلى تغيرات كهربية، وهذا ما يحدث بالفعل عندما يمتص كم ضوئي فى بعض الخلايا الحساسة فى شبكية العين حيث تتحول التغيرات الكيميائية نبضات كهربية تصل إلى المخ.

3. عندما يمتص الضوء فى وسط ما تظهر طاقته على شكل حرارة، وهذا ما يحدث عندما تستخدم الأشعة تحت الحمراء (Infra red (IR لتسخين بعض الأنسجة.

كذلك استخدام الحرارة الناتجة من أشعة الليزر فى عملية لحام الأوعية الدموية لوقف النزيف عندما تكون عملية ربط الأوعية صعبة مثل ما يحدث فى شبكية العين.

والموجات الضوئية فى منطقة الطيف فوق البنفسجى (ultraviolet) أطوال موجاتها يقع فى المدى 100-400 نانومتر وأطوال الموجات الضوئية فى المنطقة من الطيف تحت الحمراء (Infrared) تقع فى المدى 700-10000 نانومتر، ووحدات قياس الموجات الضوئية هي نانومتر، ميكرومتر، انجستروم، وترتبط ببعضها على النحو التالى:

$$1\text{A}^{\circ} (1\text{Angstrom}) 1\text{A}^{\circ} = 10^{-10} \text{meter} , 1\text{nm} = 10^{-9} \text{m} , 1\mu = 10^{-6} \text{m}$$

μ ميكرون

تطبيقات الضوء المرئى فى الطب

Application of visible light in medicine

المعلومات الأولية التى يحصل عليها الطبيب المعالج تتم بالرؤية، وذلك بملاحظة أي تغير فى لون الجلد مثلاً أو أي تغير فى تراكب الجسم الخارجية من حيث أنها طبيعية أو غير طبيعية، وقد يلجأ الطبيب إلى استخدام قطع ضوئية مثل المرايا لإضاءة فتحة ما فى الجسم لرؤية ما يؤثر عليها، وقد تكون هذه المرايا مصممة بشكل ما لتخدم غرض ما مثل ما يحدث فى فحص الأنف أو الزور أو العين.

والأجهزة المستخدمة لرؤية الأجزاء الداخلية فى بعض تجاويف الجسم تسمى أجهزة الإضاءة الداخلية (endoscopes) أو المناظير مثل منظار المثانة (Cystoscope) وهو الذى يستخدم فى فحص المثانة ومنظار المستقيم (Proctoscope) ويستخدم فى فحص المستقيم (rectum) ومنظار الرئة

bronchoscope) ويستخدم لفحص الهواء المار داخل الرئة (lungs)، وكثيراً من هذه الأجهزة مزود بمساعدات الإضاءة مثل مكبرات للجزء تحت الاختبار، وقد ساعدت خيوط الضوئية (fiberoptic) على تصنيع منظار مرنة وبذلك سهلت فحص أجزاء من الجسم التي لم تكن تفحص بالمنظير الغير مرنة (rigid endoscopes) من فحص الأمعاء الدقيقة والغليظة وقد يصل طول بعض هذه المنظير إلى أكثر من متر، ومعظم هذه المنظير مزودة بقناة خاصة تمكن الطبيب من الحصول على عينات (biopsies) من الأنسجة (tissues) للفحص تحت الميكروسكوب العادي لتأكيد تشخيص، ويجب أن نلاحظ أن إضاءة المناظر لها حدود لتفادي أثر التسخين الناتج منها للأنسجة ولتقليل هذا الأثر تزود الأجهزة بمرشحات (filter) لإمتصاص الأشعة تحت الحمراء (infrared) لتقليل الأثر الحراري للأشعة وتسمى المنظار في هذه الحالة المنظار الباردة (Cold- light endoscope) حيث يكون أثر الأشعة تحت لحرارة أقل ما يمكن.

وعند انتقال الموجات الضوئية أو الانتقال الضوئي (transillumination) خلال الأنسجة نلاحظ أن الإضاءة حمراء وذلك لكون كرات الدم الحمراء هي المكون الأساسي في الشعيرات الدموية وتلك تمتص كل ألوان الطيف في الضوء المرئي الساقط على النسيج الحي ولا ينفذ منه إلا اللون الأحمر الذي يظهر النسيج بذات اللون (أنظر مغمض العينين في غرفة مظاءة)، وبذلك يكون للضوء الأحمر أهمية خاصة عند استخدام الانتقال الضوئي في اكتشاف استسقاء الرأس (hydrocephalus or Water- head في الرضع).

ويسهل هذه المهمة أن عظام جمجمة الرضيع لم تكن تكلس تماماً (Calcified)، وبذلك يتمكن الضوء من النفاذ إلى داخلها فإذا ما كان هناك زيادة نسبية واضحة في السائل المخ شوكي (cerebrospinal fluid (CSF)) في الجمجمة فإن الضوء سوف يستطار (scattered) على اتجاهات عديدة في الجمجمة ويعطي نموذج ضوئي للحيود يميز استسقاء الرأس عند الرضع (hydrocephalus Or Water – head) ولا يمكن

الحصول عليه إلى في هذه الحالة.

ويستخدم الانتقال الضوئي (transillumination) أيضاً للكشف عن أنقباض الرئتين (pneumoghorax or collapsed lungs) في الرضع، حيث يسقط الضوء الأبيض على صدر الرضيع من الأمام وينفذ ويرتد منعكساً من الجدار الخلفي للصدر ليوضح درجة إنطباق الرئة ومن ثم يستطيع الطبيب شفط الهواء بين القفص الصدري والرئة ليعود للرئة إنبساطها، وتعالج حالات التواء الأمعاء والتصاقها بنفس الطريقة.

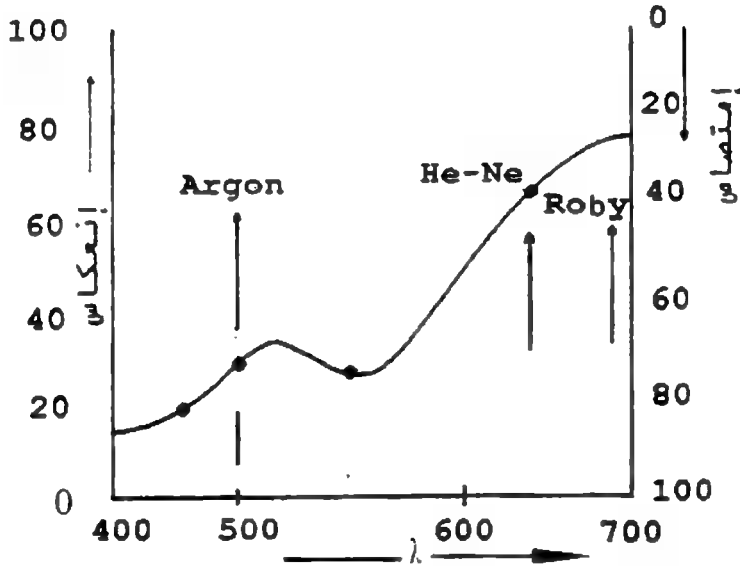
وللضوء المرئي استخدامات خاصة في العلاج الطبيعي (الإشعاعي) (therapeutic) حيث يكون له تأثيرات فسيولوجية، كثيراً من الرضع المبتسرين يعانون من يرقان شديد (Jaundice) وقد وجد أن الرضع يشفون من هذه الحالة إذا تعرضت أجسامهم للضوء المرئي أي للعلاج بالضوء (phototherapy) وخصوصاً الضوء الأزرق.

الليزر في الطب Laser in medicine

يتولد شعاع الليزر من المادة المخزن فيها على شكل شعاع مركز من الضوء إما على شكل موجات مستمرة أو على شكل نبضات شدتها الضوئية عالية ويظل الشعاع مركز لمسافة طويلة ويكون مسقطه في أي مكان نقطة مثالية، (Spot) ويمكن تصويبه في مساحة ميكرونيات مربعة قليلة، وبهذه الطريقة تكون القدرة الناتجة عند التصويب عالية وتسمى بكثافة القدرة أي القدرة المؤثرة على وحدة المساحات.

وطاقة نبضة الليزر المستخدم في الطب والتي تقاس بالملي جول (mJ) يمكن أن تعطي في زمن أقل بكثير من جزء من مليون من الثانية (Microsecond) أي تكون القدرة عالية جداً وفي حدود مليون وات (megawatts). وتقاس بمقدار الحرارة المتولدة في الكاشف أو كاشف ضوئي مثل الخلايا الشمسية (photocell or photodector or solar cell).

ونظرا لأن شعاع الليزر يمد الأنسجة بالطاقة، فإنه من خواص الليزر الذي يستخدم يجب أن يمتص جزء كبير منه في الأنسجة والشكل (6-1) يوضح امتصاص وانعكاس موجات الليزر من على سطح الجلد.



شكل (6-1)

وهذا المنحني يختلف من شخص إلى آخر إلا أن الموجات القصيرة 400-600 نانومتر تمتص بشكل أكبر من الموجات الطويلة (700 نانومتر). وشعاع الليزر الذي يوجه إلى الأنسجة يرفع درجة حرارتها ويمكن أن يحطمها، ويعتمد مقدار التحطيم على الزمن الذي تظل عنده درجة الحرارة العالية ثابتة، وقد يكون التحطيم ناتج من التفاعل الكهروضوئي لليزر من تأثير ارتفاع درجة الحرارة، وقد يكون السببين مجتمعين عند درجة حرارة متوسطة الارتفاع.

والليزر يستخدم في طب العيون في علاج الانفصال الشبكي، أو منع نزيف الشبكية باعتبار مشروط لا نزيف منه (bloodless knite) بحيث يرفع درجة حرارة الوعاء الدموي في الشبكية لنقطة يتجلط عندها الدم ويسد الوعاء (photocoagulation)،

وكانت هذه العملية تتم قبل الليزر باستخدام القوس الكهربى للزينون (xenono) الذى يعطى ضوء شدته عالية، والذى مازال يفضل فى بعض العمليات، إلا أن نقطة اللحام بالليزر مساحتها صغيرة جداً (50 ميكرومتر قطرها) بالنسبة لمثيلها فى حالة الزينون (بقطر 750 ميكرومتر). فضلاً على قصر وقت التعرض.

هذا ويجب أن نقلل من التعرض لموجات الليزر المنعكسة من على سطح ما لخطورتها كما يجب أن تكون جدران الأماكن التى تتم فيها العمليات ماصة أكثر من عاكسة ويحظر مرور العاملين فى منطقة العمل بأشعة الليزر وقت التشغيل.

تطبيقات الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء فى الطب

Application of ultraviolet and infrared light in medicine

طاقة الأشعة فوق البنفسجية أكبر من طاقة الأشعة المرئية وطاقة الأشعة تحت الحمراء أقل من طاقة الأشعة المرئية، ونظراً للفارق فى الطاقة فإن الأشعة فوق البنفسجية تعتبر أكثر فائدة حيث تستخدم فى تعقيم الأدوات الطبية ضد الجراثيم (Germicidal) كما أن تفاعلها مع الجلد أكثر أثراً من الأشعة المرئية وأحد هذه التفاعلات المفيدة هو تحويل الأشعة فوق البنفسجية فى الجلد إلى فيتامين D.

والأشعة فوق البنفسجية تؤثر على لون الجلد وتلونه أو قد تحرقه، وتعتبر الأشعة فوق البنفسجية أحد أسباب سرطان الجلد وخصوصاً لمن يتعرضون للشمس وقت كبير (عمال زراعة، صيادين) حيث أنه من المعروف أن الأشعة الشمسية الحارقة تمتص بشراة فى خلايا (دنا DNA) فى سطح الجلد، وتظهر أثره عادة عند القمم فى خلايا الجلد مثل مقدمة أرنبة الأنف، وحواف صوان الأذن وخلف الرقبة (القفاة)، وهذا النوع من السرطان يعالج بسهولة عند الاكتشاف المبكر.

واللون الأزرق موجاته قصيرة فهي تستطار بسهولة فى الفضاء وتعطى لون السماء الأزرق والموجات فوق البنفسجية أقصر منها ولذلك تستطار بسهولة ويصل

◆ (الباب الساوس) - (الضوء في الطب) ◆

جزء كبير منها إلى الأرض بشكل غير مباشر أي أن الأشعة فوق البنفسجية يمكن أن تصل إلى شخص ما وهو جالس بعيد تحت ظل شئ ما أو قد تصل رغم أن السماء غائمة وهذه الأشعة لا تري لكونها تمتص قبل أن تصل الشبكية وخصوصا في عدسة العين.

والأشخاص الذين أزالو عدسة العين بسبب أو لآخر لهم القدرة على رؤية الأشعة القريبة من الأشعة فوق البنفسجية.

ونصف كمية الإشعاع التي تصل من الشمس إلى الأرض هي أشعة تحت الحمراء (IR) والإحساس بالسخونة الذي نشعر به ناتج من هذه الأشعة، وهى ليست دائماً ضارة إلا أن تصوب على العين وتصل إلى الشبكية وخصوصاً في حالة استعمال نظارة بلاستيكية التي تمتص الأشعة المرئية وينفذ خلالها الأشعة تحت الحمراء وتصوب على الشبكية فتحطمها عن طريق الحرق وقد حُرِم كثير من الناس بصرهم بهذه الطريقة، واستخدام نظارات داكنة (سوداء) يعفي من خطر الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء.

والمصادر الضوئية (لمبات) التي تعطي نسبة عالية من الأشعة تحت الحمراء (IR) والتي أطوال موجاتها يقع في المدى 1000-2000 نانومتر تستخدم في العلاج الطبيعي (therapy)، وذلك لكون هذه الأشعة تنفذ في الأنسجة إلى أعماق أكبر من الأشعة المرئية ويفضل استخدامها في تسخين الأنسجة.

وتستخدم الأشعة تحت الحمراء المنعكسة على سطح الجلد لتصوير الأوردة تحت الجلد وبالرغم من ظهور بعض هذه الأوردة للعين المجردة إلا أن الكثير منها يمكن أن يتضح باستخدام التصوير بالأشعة الحمراء (near IR) في المدى الموجي القريب الواقع بين 700-900 نانومتر، وهذا التصوير يعتمد على الإشعاع الحراري الخارجي من الأوردة والذي يختلف كমে من نقطة إلى أخرى وبالتالي هذا التصوير يعطي نموذج واضح للأوردة ومحتوياتها.

ودرجة حرارة الأوردة تختلف من شخص إلى آخر، وهي تختلف في الشخص الواحد وكذلك من نصف الصدر الأيمن عنه في النصف الصدر الأيسر الأمر الذي يعطي مؤشراً على مكان ارتفاع درجة الحرارة الناتج من أي ورم.

فيزياء الفحص الجهري في الطب

physics of the microscopical test in medicine

الميكروسكوب الضوئي يمكن تغيير قوة تكبيره بتغيير قوة العينية أو قوة الشيئية، إلا أن أكبر قوة لتكبيره محدودة، وذلك لكون الضوء المستخدم في المدي المرئي من طيف الضوء 400-700 نانومتر، وهذا يعطي الفرصة لفحص أجسام دقيقة لا يقل قطرها عن 1 ميكرومتر، وهذا يعتبر مرضى لفحص خلايا الأنسجة الحية التي أقطارها في المدي 5-50 ميكرومتر، إلا أن ذلك لا يعطي فرصة لفحص محتوي الخلية وهي من الأمور الأدق والأرق، وبذلك يكون استخدام الضوء المرئي كمصدر إضاءة في الميكروسكوب لا يحقق فحص الأجسام التي أقطار أجسامها أصغر من قطر الخلية لسببين:

1. أن أقطار الجسيمات المراد فحصها أصغر من طول الموجات الضوئية المستخدمة وبذلك تنشئت عليها ولا توضحها.

2. قوة فصل الجسيمات الدقيقة بعضها عن بعض لدراسة سلوكياتها ودراسة أنماط حياتها لإعداد العدة لمقاومتها تكون غير كافية أو غير متاحة لكون طول الموجات الضوئية المستخدمة أكبر من أبعاد هذه الجسيمات.

لذلك كان من الطبيعي التفكير في استخدام الأشعة غير المرئية مثل الأشعة فوق البنفسجية لصغر طول موجاتها حتي يتحقق ما ذكر سلفاً، إلا أن هذه الأشعة القصيرة الموجات لا تري بالعين حيث تمتص قبل الوصول إلى شبكية العين، وقد تم التغلب على هذه المشكلة بتصميم ميكروسكوب يعمل بالأشعة فوق البنفسجية وهو

◆ الباب (الساوس) - الضوء في الطب ◆

ميكروسكوب المتفلسف أو الفلوي (fluorescent microscope) حيث توضع شريحة المراد فحصها عليه بعد صبغها بصبغة تتفلسف إذا ما سقطت عليها الأشعة فوق البنفسجية والعين ترى ناتج التفلسف وبذلك يمكن دراسة التركيب تحت الخلوي والأجسام الدقيقة، وقد تم دراسة تركيب كرات الدم البيضاء بهذه الطريقة.

واللحصول على قوة تكبير أكبر من ذلك بكثير وقوة فصل أكبر بين الجسيمات الدقيقة فقد استخدم الشعاع الإلكتروني بدلاً من الشعاع الضوئي المرئي وغير المرئي، وذلك لكون الإلكترون مزدوج السلوك حيث يسلك السلوك الموجي والمادي، والموجات مصاحبة للشعاع الإلكتروني موجات قصيرة جداً وبذلك يتحقق الفصل الكاف بين الجسيمات الدقيقة والتكبير الذي يصل إلى ملايين المرات، وقد استخدم لذلك الميكروسكوب الإلكتروني والذي تصنع عدساته بحيث تكون عدسات إلكترونية أو مغناطيسية أو هما معاً.

والميكروسكوبات الإلكترونية نوعان إثنان: نوع تنفذ الأشعة الإلكترونية خلال العينة العينة ولذلك لزم أن تكون العينات دقيقة ورقيقة حتي تنفذ الأشعة الإلكترونية منها حاملة خواصها وترسل بها إلى الشاشة بعد تكبيرها بالقدر المطلوب للدراسة ويمكن طبعها، وهذا يسمى بالميكروسكوب الإلكتروني النافذ transmission electron microscope (TEM) والنوع الآخر يهتم بدراسة سطح العينة ولذلك تدرس الأشعة الإلكترونية المنعكسة من سطح العينة بعد تكبيرها وأرسالها على شاشة حيث أنها تحمل خواص سطح العينة وهذا هو الميكروسكوب الإلكتروني الماسح scanning electron microscope (SEM).

وكما يجب أن نلاحظ أن استخدام الميكروسكوب الضوئي العادي يتطلب صبغ العينات بمواد تمتص بعض أطوال الموجات الضوئية في الطيف المرئي حتي يمكن أن نرى مكونات العينة، حيث أنها بدون صبغة تكون شفافة بالنسبة للضوء المرئي ولا يمكن رؤيتها فيما عدا كرات الدم الحمراء.

الباب السابع

فيزياء العين والرؤية

Physics of the eye and vision

الباب السابع

فيزياء العين والرؤية

Physics of the eye and vision

مقدمة

ما أعظم أن تري وتستبين طريقك بدون عوائق حتي تكون حركتك حركة آمنة لك ولغيرك، تلك هي هداية الله للبشر بنعمة البصر التي تعتمد على ثلاثة ركائز.

1. العين تصوب صور المرئيات من حولها على شبكية العين (eye retina).
2. العصب البصري الذي يحمل المعلومات من خلال ملايين الخيوط العصبية فيه إلى المخ (optic nerve).
3. المركز البصري (Visual cortex) في المخ وفيه يتم التفسير والأمر بالفعل من عدمه، وفقدان أي من هذه الركائز أو إذا لم يؤدي واحد منها وظيفته فقد البصر.

والعين تتميز بالخواص الآتية:

- تراقب العين الأحداث من خلال زاوية رؤية واسعة، فضلاً عن إهتمامها برؤية هدف خاص تقع عليه بشكل مباشر.
- عملية الرمش تساعد على تنظيف العين من خلال منظفات في غدد العين.
- التصويب الدقيق والسريع يسمح برؤية الأجسام القريبة والبعيدة.
- العين تعمل بكفاءة عالية في مدى واسع من الشدة الضوئية ($1:10^{10}$) وذلك بين قمة

الإضاءة بالنهار إلى الرؤية في الظلام الحالك بالليل.

- فتحة عين الإنسان تعمل بشكل آلي.
- في العين نظام ينظم الضغط داخلها ويحفظه عند 20مم زئبق ومن ثم يحفظ عليها شكلها.
- قرنية العين شفافة مزودة بمنظفاتها ولا تمر فيها شعيرات دموية للإبقاء على شفافيتها.
- العين محمولة على قواعد دهنية نقيها الصدمات وتمتصها عنها كما يحيط بها محجر من العظام كدرع واق.
- تظهر صور المرئيات مقلوبة على شبكية العين ولكن المخ يصحح الوضع لنري الأشياء معتدلة كما هي.
- المخ يُولف بين الصور من كل عين ويعطي الإحساس بالرؤية المجسمة، وفي حالة فقد عين نشعر بنفس الإحساس.
- العضلات المرنة للعين تمكنها من الحركة في كل إتجاه.

عناصر التصوير (المبائرة) في العين Elements of focusing

1. القرنية (Cornea): وهي شفافة نقية في الجزء الأمامي من العين وتؤدي ثلثي عملية التصوير وقوة التصوير فيها ثابتة بإنكسار الضوء النافذ خلالها.
2. عدسة العين (eye lens): وتقوم بعملية التصوير الدقيق لكونها مرنة ومثبتة بعضلات مرنة تمكنها من تغيير قوتها وبعدها البؤري ومن ثم يتغير البعد البؤري للمجموعة الضوئية المكونة من العدسة والقرنية.

ويجب أن نلاحظ أن إنكسار الضوء خلال قرنية العين يعتمد على نصف قطر تكور سطحها وسرعة الضوء في عدسة العين مقارنة بسرعتة في الوسط المحيط أي

◆ (الباب السابع- فيزياء العين والرؤية) ◆

يؤخذ في الاعتبار معامل انكسار الوسط ومعامل إنكسار القرنية.

ويختلف دور القرنية في التصويب تحت سطح الماء وذلك لأن معامل إنكسار الماء (1.33) وهو في حدود (1.37)، وذلك يرتدي الغطاسون قناع (نظارة) يعصم القرنية من ملامسه الماء لتظل تؤدي دورها في الرؤية (الأسماك إذا خرجت من الماء لا تري ليكون معامل إنكسار مادة قرنيته في حدود معامل إنكسار الهواء (Unity)، ومعامل إنكساره مادة القرنية ثابت لمعظم البشر إلا أن نصف قطر تكور القرنية هو الذي يختلف من فرد إلى فرد ويكاد يكون المسئول عن كل عيوب الإبصار.

فإذا كان تكور سطح القرنية حاد فإن العين تعاني قصر نظر، كما أن التكور الخفيف يؤدي إلى طول النظر، وعدم التماثل في التكور في المستوي الرأسي والأفقي يؤدي إلى حول العين (astigmatism)، وكل عمليات التصويب التي تقوم بها القرنية تتم على سطحها الخارجي حيث أن السائل المائي الملاصق لسطحها الداخلي معامل إنكساره له نفس قيمة معامل إنكسار مادة القرنية، وهو الذي يمد القرنية بكل ما تحتاج إليه من مقومات الغذاء لأنه يحتوي على كل محتويات الدم فيما عدا كرات الدم الحمراء، أما الأكسجين فتحصل عليه القرنية من الهواء (وذلك لكون القرنية ليس بها أوعية دموية حرصا على الإبقاء على شفافيتها)، والقرنية تشفي نفسها كباقي الخلايا الحية في حالة خدشها أما إذا تعرضت لبعض الإشعاعات مثل الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينية أو الإشعاعات النيوترونية وغيرها، فإنه بزيادة مدة التعرض قد تزداد عتامتها وتقل الشفافية ويتطلب ذلك تغييرها، والقرنية البديلة يقبلها الجسم بسهولة وذلك لكون معدل البناء فيها بطيء (metabolic rate) فلا يطردها الجسم.

وعدسة العين لها قوة تصويب من كلا جانبيها، ودرجة تحدب العدسة من الداخل أكبر منها من الخارج وهي تغير قوة تصويبها بتغير تحدبها.

وقوة عدسة العين أقل من قوة القرنية حيث أن السائل الزجاجي الملاصق لعدسة العين معامل إنكساره قريب من معامل إنكساره العدسة، والعدسة هذه تتكون من عدة طبقات (مثل البصلة) وكل طبقة لها معامل إنكسار يختلف عن معامل إنكسار الطبقة

الأخرى.

والعدسة لها غطاء مرن وهي مثبتة بأهداب مرنة فيه، وعندما تكون هذه الأهداب (focusing muscle) فى حالة إسترخاء فإن قوة العدسة تكون أقل ما يمكن حيث تكون العدسة منبسطة وتكون العين ناظرة إلى جسم بعيد والنقطة التى يتم عندها تصويب جسم بعيد فى هذه الحالة تسمى بالنقطة البعيدة (Far point).

والفئات التى تعاني قصر نظر هذه النقطة تكون قريبة من العين عندهم ولتصويب جسم قريب (focus on) فإن الأهداب المرنة حول عدسة العين تنقبض إلى أصغر دائرة وبذلك تؤثر على العدسة ويزداد تحدب العدسة وتزداد قوة تصويبها (focusing power) وبالتالي فإن الأجسام القريبة من العين تظهر صورتها على الشبكية، وتسمى أقرب نقطة للعين والتى تعطى صورة الجسم على الشبكية بالنقطة القريبة (near point).

والقدرة على تغير قوة التصويب فى العين (focal power) تسمى بالتأقلم (accommodation)، وبمرور العمر تفقد العدسة قدرتها على التأقلم أو بعض منها وتصاب العين بقصر نظر (persbyopia).

وهناك من الحيوانات ما يصوب نظره بتحريك العين إلى الأمام وإلى الخلف وليس بتغير قوة العدسة كما يفعل بنى البشر، وهذا يجنب هذه الحيوانات مرض شيخوخة البصر (old sight) وإلا لأضطرت الأسماك استخدام نظارات فى العمر المتأخر.

وإنسان العين (eye pupil) فتحة فى مركز القرنية (iris) يدخل منها الضوء وتبدو سوداء نظرا لأن الضوء الذى يدخل منها يمتص تماما وهذه الفتحة عند ظروف إضاءة متوسطة يكون قطرها فى حدود 3مم إلا أنها تتغير من 2مم فى حالة إضاءة شديدة إلى 7مم فى حالة إضاءة خافتة والتغير من إضاءة عالية إلى إضاءة خافتة يحتاج إلى وقت يتم فيها التأقلم.

◀ (الباب السابع- فيزياء العين والرؤية) ▶

والقرنية (iris) تساعد العين بزيادة أو نقصان كمية الضوء الساقط على الشبكية كما تساعد في تقليل عيوب العدسة في حالة الإضاءة الشديدة، حيث تساعد على تصويب الضوء ليقع على الشبكية بتقليل قطر إنسان العين.

والسائل المائي يملأ الفراغ بين العدسة والقرنية وهو تقريبا ماء ومعينه لا ينضب والزائد منه يخرج من القنوات الدمعية والتي إذا سدت يرتفع ضغط العين وتسمى هذه الحالة بالمياه الزرقاء (glaucoma)، وهو يمد العدسة والقرنية بإحتياجاتها من الغذاء ويحفظ ضغط العين عند 20 مم زئبق.

والسائل الزجاجي بين العدسة والشبكية يعطى العين شكلها الكروي وقوامه لزج ويسمى (vitreous body or vitreous humor) السائل الزجاجي أو الجسم الزجاجي.

وحافظة العين (sclera) تحيط بالعين من جميع الجهات ما عدا جهة القرنية.

وكل هذه العناصر تساعد على تصويب الضوء الساقط على العين ليكون صورة المرئي على شبكية العين حتى تؤثر على العصب البصري الذي ينقل النبضات الكهربائية إلى المخ وتحقق الرؤيا.

الشبكية Retina

هي العنصر الحساس في العين والذي يحول الصور الضوئية إلى نبضات كهربية التي ترسل إلى المخ، ويحدث ذلك بإمتصاص الفوتونات الضوئية في المجسات الضوئية (photoreceptor) التي تقدر النبضات الكهربائية وترسلها إلى المخ كجهد حدث (action potential) أو بمعنى آخر الضوء الممتص في المسجات الضوئية بسبب تفاعل ضوئي كيميائي الذي يسبب جهد الحدث). ولا يسبب ذلك إلا فوتونات لها حد أدنى من الطاقة ولذلك الأشعة تحت الحمراء لا تسببه لكون طاقتها قليلة فهي لا تسببه ولا ترى.

وطاقة الأشعة فوق البنفسجية عالية لكنها تمتص قبل أن تصل الشبكية ولذلك هى أيضاً لا تُرى.

والشبكية تغطى نصف كرة العين الخلفى من الداخل ولذلك تعطى فرصة لزاوية رؤيا واسعة ولكن أوضح رؤيا تتركز فى منطقة تسمى بالبقعة الصفراء (macula lutea or yellow spot) ومركز هذه البقعة هو أشد أجزاء الشبكية حساسية وتكون الرؤية فيه الأكثر وضوحا (fovea centralis) وصور المرئيات على الشبكية تكون صغيرة جدا.

والمجسات الضوئية (photoreceptors) نوعين فى الشبكية وهى المخاريط والعصييات (القضبان) (cones and rods)، وهذه المجسات منتشرة تحت سطح الشبكية وعلى معظم مساحتها، وهى موزعة بشكل متماثل حول المحور البصرى ما عدا فى النقطة العمياء (the blind spot).

ويصل عدد المخاريط فى كل عين إلى سبعة ملايين وهى تستقبل ضوء النهار أو الرؤية النهارية وبها نرى التفاصيل الدقيقة والألوان وتتواجد فى البقعة الصفراء بكثافة عالية وبكثافة أقل فى جميع أجزاء الشبكية، والمخاريط الموجودة فى البقعة الصفراء كل واحد منها له خيطه العصبى الموصل للمخ أما فى باقى أجزاء الشبكية فأكثر من مخروط يشتركون فى خيط عصبى واحد والمخاريط ليست حساسة لكل الألوان بشكل متجانس ولكن تصل حساسيتها إلى حدها الأقصى عند 600 نانومتر فى منطقة الأخضر- الأصفر، (yellow- green)، والعصييات تودى دورها فى الرؤية الليلية ويصل عددها فى كل عين إلى 110 مليون وتغطى معظم الشبكية وأعداد كبيرة منها يتصل بخيط عصبى واحد وترسل ما لديها من معلومات من خلاله (لكل 100 عصبية خيط عصبى واحد) وهذا يعنى أن الفصل بين المرئيات القريبة من بعضها البعض يكون أمر صعب فى الرؤية الضعيفة، وأكبر حساسية للرؤية بالعصييات عندما يكون النظر مصوب إلى الأمام مباشرة، وهى حساسة للون الأزرق- الأخضر أى عند 500 نانومتر، وكلا من المخاريط والعصييات لهم نفس الحساسية بالنسبة للون الأحمر

◆ الباب السابع- فيزياء العين والرؤية ◆

675 نانومتر والعين لا تبلغ أقصى حساسية لها في ضوء النهار وإنما إذا نقصت شدة الإضاءة بمقدار 1000 مرة مثلاً فإننا نشعر لحظياً أننا في إظلام تام ثم لا نلبث أن نعود لنرى وبوضوح تام، والإظلام الذي حدث هو إظلام التأقلم (dark adaptation) وهو الوقت اللازم للجسم ليزيد من كم الكيماويات الحساسة للضوء في كل من المخاريط والعصيات، والمخاريط تتأقلم بشكل أسرع من العصيات (5 دقائق) ولكن العصيات تظل إلى زمن أطول من ذلك بكثير، ويمكن الإسراع بعملية الأقلمة (dark adapt) بإغماض العينين عند لحظة التغير الفجائي في شدة الإضاءة (قطع الإضاءة مثلاً) وتوجد منطقة لا يوجد بها مخاريط أو عصيات وهي نقطة العمى (blind spot) وهي منطقة دخول العصب البصري إلى العين.

وقد وجد أن أقل عدد من الفوتونات اللازم إمتصاصها في العصية الواحدة ليعطى إحساساً بالرؤية هي عشرة فوتونات من كل تسعون فوتون تسقط على العين، والباقي يرتد أو يمتص وأكثر من ذلك وجد أن فوتونين فقط يكونان كافيان لإحداث إثارة في عصية تعطي نبضات كهربية إلى المخ ونشعر بالرؤية.

وبعض الحيوانات مثل القطط تغطي خلفية العصيات عندها مواد عاكسة وتجعلها أكثر إمتصاصاً للفوتونات الضوئية، هذه الحيوانات تبدو أعينها وكأنها تتوهج في الظلام إذا سقط عليها الضوء.

أثر الحيود على الرؤية في العين:

كل الموجات الضوئية تعاني من حيود عن مسارها عندما تمر من فتحة ضيقة وفتحة إنسان العين تعتبر فتحة ضيقة لذلك يتكون نموذج حيود على شبكية العين وإن كان هذا الحيود لا يؤثر على الرؤية في الظروف العادية، ولكن إذا حدث أن فتحة إنسان العين ضاقت بشكل كبير (0,9 مم) فإن الحيود الحادث عند الشبكية سوف يكون له أثر على درجة الرؤية (visual acuity) ويزداد الأثر بزيادة نقصان قطر فتحة العين عما ذكر، حيث يؤدي هذا إلى عدم تصويب الضوء الصادر من مصدر ضوئي

ليقع على عصبية واحدة أو مخروط واحد يسبب هذا الحيود حيث يؤدي إلى ظهور نقطة مركزية مضيئة على الشبكية لها تشتت زاوى (20) تحكمه العلاقة:

$$c = 2.44 \cdot 20 = C \frac{\lambda}{a}$$

حيث a فتحة إنسان العين، λ الطول الموجى المستخدم وبذلك يزداد التشتت الزاوى كلما نقصت (a) ويغطى أكثر من مخروط أو عصبية فتقل الرؤية.

حدة الرؤية visual acuity

تقاس حدة الرؤية أو قوة فصل العين (Resolution of the eye) بعدة اختبارات.

فى حالة استخدام إختبار سنلن snellen's chart لإختبار حدة الرؤية إذا قيل أن العين حدثها 20/20 هذا يعنى أن العين تحت الإختبار تقرأ تفاصيل شىء ما على بعد 20 قدم وهى نفس المسافة التى نقرأ منها عين صحيحة طبيعية، وإذا قيل أن العين حدثها 20/40 هذا يعنى أن العين تحت الإختبار تقرأ تفاصيل شىء ما على بعد 20 قدم بينما تقرأه عين صحيحة طبيعية على بعد 40 قدم، وهذه طريقة سهلة ودقيقة وبسيطة.

وتعيين حدة الرؤية أو قوة فصل العين بواسطة المخاريط فى البقعة الصفراء (fovea)، ويستخدم لذلك نظام من خطوط سوداء وخطوط بيضاء متراسة جنباً إلى جنب على التبادل وبحيث تكون أبعاد الخط الأبيض والخط الأسود فى الصف الواحد ثابتة ثم تقل فى الصف التالى ثم الذى يليه وهكذا. ويسمى هذا النظام بأزواج الخطوط (Line Pair(LP)، وتحت الظروف الممتازة تستطيع العين فصل 30 زوج/مم بالكاد، فإذا ما تراجعنا العين تحت الإختبار إلى ضعف المسافة تستطيع فصل 15 زوج/مم بالكاد، وقوة فصل العين تعطى بدلالة الزاوية التى تصنع بين العين ولا تعتمد على المسافة وأقل زاوية تؤدي إلى فصل خطين من لون واحد عن بعضهما هي 25 مللى راد.

◆ الباب السابع- فيزياء العين والرؤية ◆

وليتِم ذلك الفصل فإن الخططين الأسودين المتتاليين بينهما خط أبيض، تسقط صورهما على صفين من المخاريط متتابعين بينهما صف مخاريط تسقط عليه صورة الخط الأبيض.

وقوة الفصل تتردى بسرعة عندما لا تقع الصورة على البقعة الصفراء فإذا ما وقعت الصور بعيدة عن البقعة الصفراء بزاوية قدرها 10^0 فإن قوة الفصل نقل بمقدار عشرة مرات، فإذا تغيرت الظروف المحيطة مثل قوة الإضاءة، والخلفية فإن قوة الفصل تتأثر.

الظواهر المتعلقة بالخداع البصري

Related phenoma with optical illusion

كثيراً ما ترى العين الأمور على غير حقيقتها ويسمى ذلك بالخداع البصري (optical illusion) فإذا نظرنا إلى مساحة مظلمة باللون الرمادي فإن العين سوف ترى درجة اللون بالمقارنة مع لون ما يحيط بهذه المساحة فإذا كانت هذه المساحة عبارة عن حلقات متتابعة من اللون الرمادي ولها نفس درجة اللون فإن الحلقة الرمادية المجاورة لحلقة بيضاء سوف تظهر أكثر سواداً وذلك ناتج من خداع البصر من جراء التناقض.

ويصبح ذلك ذو أهمية عندما ننظر إلى صورة أشعة سينية باستخدام مصدر ضوئي لقراءة الصورة فإذا لم تكن شدة إضاءة المصدر الواقعة على الصورة متجانسة فإن بعض الأجزاء سوف تظهر للعين بدرجة سواد أعظم الأمر الذي قد يؤثر على التشخيص.

كثيراً ما يحدث أن تتوقف الأعصاب عن إرسال النبضات الكهربائية للمخ إذا كان الأثر دائم ويحدث هذا لأعصاب العين، وتعوض العين هذا التقصير بعمل إهتزازات دائمة بدوام الأثر، وهذا ما يسمى بإضمحلال التأثر (fading of signal) وعلى سبيل

المثال إذا نظرت إلى صورتين متماثلتين بينهما فاصل نظرة طويلة فإن الفاصل بينهما يختفى فإذا ما تحولت العين عنهم ثم عادت يظهر الفاصل مرة أخرى، ومثال آخر لذلك أنه في حالة النظر إلى العين من خلال منظار العين (ophthalmoscope) فإننا نرى أوعية دموية كثيرة في الشبكية، وهذه تقطع الطريق على الضوء فلا يصل إلى المخاريط والعصيات الواقعة تحت الأوعية الدموية، والسبب أننا لا نستطيع رؤية هذه الأوعية الدموية بشكل طبيعي وهو أن ظل هذه الأوعية أيضا يقع على نفس المخاريط والعصيات ويعطى أثر دائم فيضمحل أثره (steady single fades) بعد اللحظة التي تفتح فيها أعيننا في الصباح، إلا أننا نستطيع رؤية الأوعية الدموية باستخدام فكرة انتقال الإضاءة (transillumination).

وما عليك إلا أن تغمض عينيك (closed eyes) وأمسك بمصدر إضاءة بشكل قلم (penlight) وقربه وأبعده عن عينك المغمضة (eyelid) بسرعة، فإن بعض الضوء سوف يخترق الجفن وحافظة العين (sclera) ويجعل الأوعية الدموية تلقى بظلامها على مخاريط وعصيات مختلفة وغير دائمة وبذلك نرى صور الأوعية الدموية نستخدم هذه الطريقة للتأكد من أن الشبكية تؤدي مهمتها.

وكثيرا ما يحدث أن يرى الإنسان دون إضاءة وبالرغم من ذلك فإنه يرى ضوء. وذلك ما يسمى بالفسفان phosphene أى الإضاءة الميكانيكية، ويحدث هذا عند إغماض العين والضغط على محجرها أو إغماضها بشكل محكم، وذلك يثير بعض المحسات الضوئية (light sensors) والمخ يفسر أى نبضة كهربية تأتي من العصب على أنها ضوء، حيث لا يستطيع التفرقة بين مصادر الإثارة التي تصل إليه عن طريق العصب البصري، فمثلا إذا تلقى شخص ما على رأسه ضربة قوية مؤثرة على المحسات الضوئية العصبية فإنه لحظيا سوف يرى نجوم تتلألأ أمام عينه (see stars).

وكذلك إذا وضع على العين فرق جهد صغير في حدود (5V) خمسة فولتات في وقت كانت فيه العين مغلقة فإن العين سوف ترى إضاءة عند وضع الجهد وعند إزالته،

الباب السابع- فيزياء العين والرؤية

وهذا يعنى أن نبضات كهربية تقدح من خلال العصب البصرى إلى المخ الذى يفسر النبضة وكأنه يرى ضوء.

وعند النظر- إلى أجزاء فى مكان نجلس فيه (غرفة دراسة مثلاً) وعلى جدران
نمكان معلقات فعند تحريك الرأس أو العين أفقياً فإن الصور تنتقل من الشبكية إلى
المخ تتلاحق بسرعة شديدة فيقر فى فكر المشاهد أن الجدار يتحرك، وكذلك عند النظر
إلى مرئيات من نافذة قطار يتحرك بسرعة فإن المخ يفسر الحركة السريعة بإنقلاع
المرئى تلو المرئى وكأن المتحرك السريع هى المرئيات وليس القطار.

والمخ يخلط بين الضوء الذى يصل من العينين أى يخلط بين النبضات الكهربية
التي تصل إليه من العين اليمنى ومن العين اليسرى لنفس المنظر حيث ترى العينين
المنظر الواحد فى وقت واحد لكن باختلاف قليل فى زاوية الرؤيا وهذا الخلط يؤدي
إلى رؤية الصورة مجسمة فى ثلاث أبعاد (stereoimage).

وللحصول على صور مجسمة باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني فإن العينة
تمال قليلاً قبل التكبير الثانى فيحدث أن تؤخذ صورة أخرى للعينة بزاوية ميل صغيرة
وتخلط الصورتين المستوية والمائلة ونحصل على صورة واحدة مجسمة أو صورة فى
ثلاثة أبعاد (stereoimage) تستخدم هذه الآلية لتصوير التركيب الدقيق للكروموزوم
(chromosome).

وعملية خلط الرؤيا من العينين تتم حتى ولو كانت إحدى العينين سيئة التصوير
أو تكبير الصور فى العين اليسرى مثلاً أكبر من تكبير الصور فى العين اليمنى.
وعندها ترى العين ومضة شديدة (flash) فإن الصورة التي ترى يظل أثرها بعض
الوقت فى العين بعد زوال مصدر الومضة وفى هذا الوقت يشعر المخ أن المصدر
مازال موجوداً ومؤثراً، فإذا زاد تردد الومضات فإن العمل المشترك بين العين
والمخ لا يفسر الضوء على أنه وميض وإنما يفسره بعملية خلط للومضات ونشعر به
كأنه ضوء مستمر ودائم (50 ومضة فى الثانية) والعصيات تستشعر هذا الأثر بمعدل
أكبر من المخاريط، وهذه هى القاعدة فى العرض السينمائى حيث يعرض فى الثانية

رؤية الألوان والزيغ اللوني

color vision and chromatic aberration

من عظمة العين أنها مجهزة لرؤية الألوان بالمخاريط (cones) وهى ثلاثة أنواع أساسية بعضها يرى اللون الأحمر وبعضها يرى اللون الأخضر وبعضها يرى الأزرق. وتلك هى الألوان الأساسية ومنها يمكن الحصول على أى لون بتغيير النسبة التى تخلط بها هذه الألوان الثلاثة، وإذا تأثرت المخاريط التى ترى لون ما وفقدت حساسيتها لرؤيته فإن عين الإنسان تصاب بعمى هذا اللون colour blind، والرجال أكثر تعرضاً لهذا المرض (8%) من السيدات (0.5%). والزيغ اللوني خاصية تنتج من تغير معامل إنكسار العدسة مع الأطوال الموجية المختلفة (وهو السبب فى تحليل الضوء إلى ألوان قوس قزح بواسطة منشور)، الأحمر الذى يجعل بؤرة كل لون منفصلة عن الآخر وهذا يؤدي إلى ظهور أهداب ملونة على صورة جسم أبيض مكونة بواسطة عدسة، والعدسات التى تمنع ظهور هذه الأهداب تصنع من أنواع متعددة من الزجاج لتعادل أثر تغير معامل الانكسار مع الأطوال الموجية، والعين لا تفعل هذا وإذا حدث فإن المخ لا يهتم، وبالرغم من هذا فإن حدة الرؤية فى العين تتأثر باختلاف البعد البؤرى الناتج من اختلاف الألوان ومثال ذلك فإن التغير فى البعد البؤرى للون الأزرق النام deep blue (390 نانومتر) إلى اللون الأحمر القاتم deep red (760 نانومتر) هو 0.7 مم أى ضعف سمك الشبكية وهذا يحتاج إلى تغير فى قوة العدسة العينية قدره 2.5 ديايوتتر.

والنظر إلى مصباح كهربى من خلال مصفاة لون (filter) من الزجاج الكوبلتى فإننا نرى صورتين لفتيلة المصباح واحدة حمراء والثانية زرقاء متجاورتين وإذا كانت العين قادره على تصويب اللونين بشكل متساوى فإن الصورتين سوف تكون منطبقتين (superimposed) وهذا ما يوضح أن الزيغ اللوني لا يؤثر فى الرؤية

◆ الباب السابع- فيزياء العين والرؤية ◆

عادية، والعين تصل قمة حساسيتها في رؤية اللون الأصفر عند مركز الطيف المرئي ونقزحية تحدد مسار الضوء ليكون في مركز عدسة العين حيث يكون الزيغ اللوني أقل. يمكن، وإستخدام العدسات المسماة بالجرأى (yellowish) تعمل عمل مصفاة ضوئية (filter) لتزيل بعض آثار الأحمر والأزرق من الضوء الذى يصل الشبكية، والإضاءة المتوائمة (monochromatic) والعدسات دقيقة الصنع تؤدي إلى حدة رؤية عالية وأفضل من إستخدام اللون الأبيض، وتكون أحسن ما يكون عند إستخدام اللون الأصفر.

وهناك أثر خاص للألوان ممكن أن يلاحظ وقت الغسق (dusk time) يسمى بأثر الغسق (dusk effect or purkinje effect) حيث لاحظ براكج أنه عند الغسق الزهور الزرقاء تبدو متألقة أكثر من الزهور الحمراء، وهذا الأثر يحدث من إزاحة حساسية العين القصوى من اللون الأصفر لتكون منحازة تجاه اللون الأزرق بفعل الإضاءة فى وقت الغسق وكأن العصيات تلعب دورا فى إستقبال الألوان عندما تكون الإضاءة مستواها ضعيف، ونظرا لأن العين مجهزة لتكون فى أقصى حساسيتها للون الأصفر فإن هذه الإزاحة تجاه اللون الأزرق تعطى خطأ فى الإنكسار قدره واحد ديوبتر الأمر الذى يجعلنا نسلم بأن الرؤية الليلية لمرئى النظارات تحتاج زيادة قدرها واحد ديوبتر.

عيوب الرؤية وتصحيحها

defect of vision and its correction

يرتبط بعد الصورة وبعد الجسم المرئى وقوة العدسة المستخدم بالعلاقة:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

حيث v بعد الصورة عن العدسة، u بعد الجسم المرئى عن العدسة، f البعد البؤرى للعدسة.

وقياس هذه المسافات بالمتر يؤدي إلى قياس ($1/f$) وهى قوة العدسة بالديوبتر (diopeters) وهذه القوة قد تكون قوة عدسة أو القوة المحصلة لعدة عدسات مجمعة أو مفرقة كل بإشارته.

وعيوب الأبصار فى مجملها عيوب مبائرة (ametropia or focusing) ويمكن تصحيحها فى باستخدام النظارات، والعيوب هى:

- قصر النظر myopia or near- sight .
- طول النظر hyperopia or hypermetropia or long- sight .
- الحول asymmetrical focusing or astigmatism .
- شيخوخة النظر perbyopia or lack of accommodation or old sight .

وبالنسبة لقصر النظر (myopic) فإن العين التى تعانیه تعاني أساسا من إستطالة فى العين على طول المحور البصرى أو أن تكور القرنية واسعة الأمر الذى يؤدي إلى تكون الصور لأجسام قريبة أمام الشبكية وليس عليها، ويعالج هذا العيب باستخدام عدسة مفرقة (سالبة) لتفرق الأشعة الضوئية وتسقطها عند بؤرة مناسبة على شبكية العين.

وفى حالة طول النظر (hypermetropiac) فإن نقطة العين القريبة (nearpoint) تكون بعيدة وعلى العين أن تقوم ببعض التأقلم لترى هذه النقاط القريبة واضحة والعين التى تعانى ذلك يكون قطر كرة العين صغير ولذلك تتكون صور المرئيات خلف الشبكية واستخدام عدسة لامة (موجبة) تجمع الأشعة على شبكية العين ليعالج الموقف.

ويستطيع الشخص نفسه أن يختبر إذا ما كان قصير النظر أو طويل النظر أو ليس به من ذلك شئ بالطريقة التالية:

أنظر من خلال ثقب صغير بورق مقوى (pinhole in a card) إلى جسم قريب

◆ الباب السابع- فيزياء العين والرؤية ◆

مضاء بشكل جيد، حرك القرب إلى أعلى وإلى أسفل أمام عينك، فإذا كانت العين صحيحة (emmetrope) فإنك لن تلاحظ أية حركة، أما إذا كانت العين تعاني قصور نظر فإن الصورة على الشبكية سوف تتحرك في الاتجاه المضاد لحركة الورق المقوى وسوف تظهر في المخ كما لو كانت تتحرك في نفس الاتجاه مع حركة الورق المقوى، أما إذا كانت العين تعاني طول نظر فإن حركة الصورة على الشبكية تكون في نفس اتجاه حركة الورق المقوى، وبذلك تظهر كأنها تتحرك في عكس الاتجاه.

وبنفس الطريقة يمكن أن نتعرف على عدسة النظارة هل هي سالبة أو موجبة وذلك بالنظر إلى جسم من خلال العدسة تحت الفحص معلقة على بعد ما، فإذا تحركت العدسة فإن الجسم أيضا سوف يتحرك، فإذا كانت حركة الجسم في اتجاه حركة العدسة فإن العدسة سالبة، وإذا ما تحرك الجسم في الاتجاه المضاد لاتجاه حركة العدسة فإن العدسة موجبة.

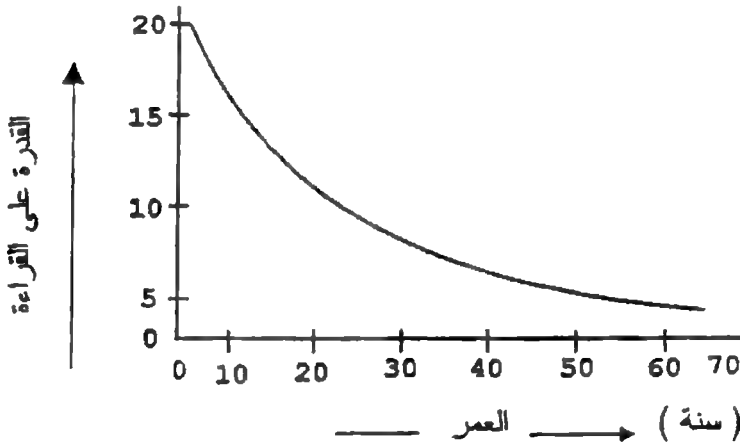
وإختبار آخر بأن ننظر من خلال العدسة على مطبوعات فإذا كبرت المطبوعات فإن العدسة موجبة وإذا صغرت المطبوعات فإن العدسة سالبة.

والعين المصابة بالحوال (Astigmatism) يعنى أن تكون سطح القرنية ليس متجانس ولا متماثل أفقيا ورأسيا uneven أى أن المحاور الرأسية والأفقية فى الرؤية لا تكون متعامدة الأمر الذى يشوه الصور على الشبكية وتحتاج العين لعمل إستدارة خفيفة لتعيد هذا التعامد ويتم تصحيح التشوه.

ولذلك يعالج الحوال بإستخدام عدسة ليست متماثلة حيث تكون قوتها فى أحد المحاور أقوى من الآخر، ولإختبار العدسة المناسبة فإنه يمكن أن ننظر من خلال عدسة على الجسم موضوع أمام عينك وتدير العدسة أمام العين فإنك ترى الجسم وقد تغير شكله مع الدوران وفى وضع واحد نرى الشكل الصحيح للجسم عندها تسجل زاوية الدوران وتلك الزاوية التى تصلح التشوه الحادث فى سطح تكور القرنية.

ويعانى الناس الذين تزيد أعمارهم عن خمسة وأربعون عاما من عدم القدرة على

القراءة العين المجردة وخصوصا أن الكتابة النمطية في المجالات غير الإعلامية تكون حروفها صغيرة ويكون من الأفضل استخدام نظارة قراءة، ويحدث هذا الأمر لفقدان الأهداب المثبتة لعدسة العين مرونتها الأمر الذى يفقدها القدرة على التأقلم (accommodation) بتقدم العمر، وهذا الفقدان لمرونة الأجزاء المرنة فى العين يبدأ مبكرا ويصل إلى حده المؤثر عند خمسة وأربعون عاما أو حول ذلك، ويصل إلى قمة فقدانه عند سن السبعين وما بعده، وهذا يؤدي أيضا إلى أن نظارة القراءة المستخدمة تتغير من وقت إلى آخر حيث أنه كلما زادت شيخوخة البصر كلما زادت الحاجة إلى نظارة قراءة قوتها أكبر شكل (1-7).



شكل (1-7)

والعدسات الملتصقة (contact lenses) ممكن أن تستخدم لعلاج عيوب الإبصار وتؤدي نفس الدور التي تؤديها عدسات النظارات التقليدية وقد يكون لها ميزات فوق ذلك لدى بعض مستخدميها، وهي نوعين صلبة (hard)، لينة (soft) وهي بلاستيكية، وتثبت هذه العدسات على أعلى نقطة في قمة القرنية أى أعلى نقطة في تحدب القرنية، والعدسات الملتصقة تعطي صورة كبيرة على شبكية العين لمن يعانون قصر النظر وتعطي صورة أصغر لمن يعانون طول نظر وذلك بالمقارنة مع النظارات التقليدية، وذلك لزيادة التأقلم فى النوع الأول ونقصانه فى النوع الثانى، والعدسات الملتصقة

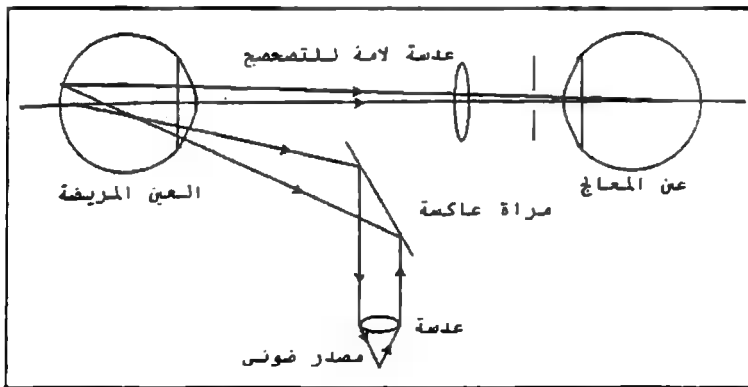
◆ الباب السابع- فيزياء العين والرؤية ◆

تساعد بشكل أكبر فى معالجة الحول (astigmatism) حيث يعالج سطح الملتصق -قرنية كل التشوهات الناتجة من عدم تجانس سطح التكور للقرنية.

ولذلك تكون النتيجة وكأن قرنية جديدة قد حلت محل القديمة والعدسات الملتصقة تينة أفضل من الصلبة لكونها منفذة وتسمح بوصول الأكسجين إلى قرنية العين مباشرة أما فى العدسات الملتصقة الصلبة فإن الأكسجين يذوب فى محلول الدموع ثم يصل إلى القرنية عن طريق إنتشار الدموع وبها الأكسجين، وسلبيات هذا النوع هو التكلفة الكبيرة، وأنها تحتاج لنظام خاص للنظافة يوميا، وتستخدم العدسات الملتصقة فى أغراض التجميل، ولتفادى حوادث المفاجئة خاصة بالنسبة للرياضيين اللذين لديهم عيوب إبصار ولا تساعدهم النظارات التقليدية.

جهاز فحص داخل العين Ophthalmoscope

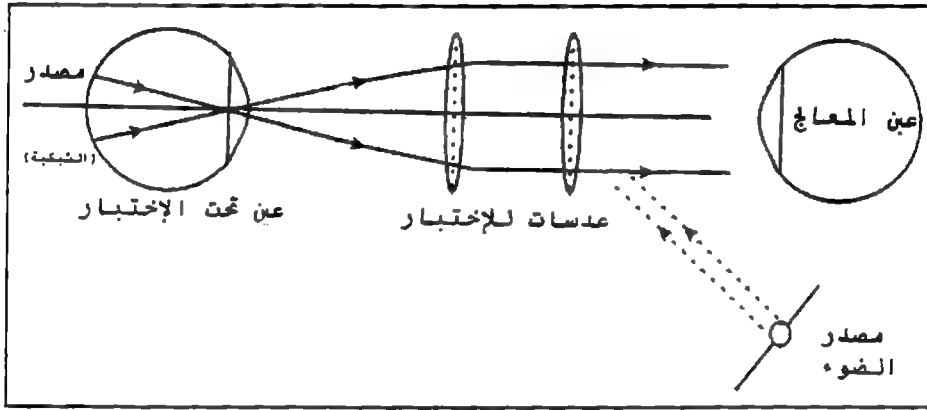
الشكل (2-7) يوضح الجهاز، حيث يسقط ضوء أبيض على العين تحت الاختبار، والضوء المنعكس من على الشبكية للعين تحت الاختبار يضبط بواسطة المعالج بحيث يختار له العدسة المناسبة موجبة أو سالبة، ويجب أن يلاحظ أن داخل العين لا يعانى ولا يكون متأثر بأى أجزاء فى الرأس متأثرة بورم ما حيث أن ذلك يؤثر بشكل مباشر على تحديد العدسات التى يتم إختبارها.



شكل (2-7)

جهاز تصحيح قوة تصويب العين، تصحيح الميopia Retinoscopy

شكل (3-7) يوضح أن الضوء الأبيض يسقط على عين المريض ليصل إلى الشبكية عن ذلك تعتبر الشبكية مصدر للضوء، والضوء العائد منها ليسقط على عين المعالج يصحح بوضع عدسات في طريقة موجبة كانت أو سالبة حتى يتجمع عند ما لا نهاية أى يخرج من عدسة التصحيح متوازي، عند ذلك تكون هي العدسة التي تحتاجها العين لتصحيح الميopia.



شكل (3-7)

الباب الثامن

الموجات الصوتية في الطب

Waves in medicine Sound

الباب الثامن

الموجات الصوتية فى الطب

Sound Waves in medicine

مقدمة:

الصوت هو أداة الاتصال الأساسية وموجاته متباينة الطول ومنها المسموع وغير المسموع، والمسموع يقع فى المدى 20 ذبذبة /ثانية إلى 20 كيلو ذبذبة/الثانية وغير المسموع هو خارج هذا المدى فالأقل من 20 ذبذبة فى الثانية موجات صوتية طويلة طاقتها صغيرة تسمى موجات تحت الصوتية (infra sound waves) وتصدر فى الظواهر الطبيعية مثل الزلازل (earthquake waves) كما تصدر أيضاً من تغيرات الضغط الجوى وقد تصدر مع بعض الذبذبات الميكانيكية فى الوحدات الصوتية وتلك الموجات لا تسمع ولكنها قد تسبب صداع وبعض التأثيرات الفسيولوجية.

وفى المدى الأعلى من 20 كيلو ذبذبة فى الثانية تصدر موجات صوتية قصيرة جداً طاقتها عالية تسمى بالموجات فوق الصوتية (ultra sonic waves) ويحصل عليها من مصادر صناعية كثيرة ولها تطبيقات علمية وصناعية كثيرة. والموجات الصوتية موجات كهرومغناطيسية تنتشر فى الأوساط بسرعات مختلفة معتمدة على نوع الوسط فسرعتها فى الغازات مختلفة عن سرعتها فى السوائل مختلفة عن سرعتها فى المواد الصلبة، وهذه الموجات تنكسر وتنعكس وتمتص وتتفد من وسط إلى آخر شأنها شأن كل الموجات وتحكمها قوانين الانعكاس والانكسار والامتصاص المعروفة

ويقاس طولها الموجى بدلالة ترددها وسرعة إنتشارها أى أن طولها الموجى (λ) يعطى بالعلاقة:

$$v = \lambda.f$$

حيث f هي التردد، أما v فهي سرعة الانتشار.

وتتكسر من وسط إلى آخر وفق قانون سنل (snell) ويمكن حساب معامل إنكسارها بمعرفة زاويتي السقوط والانكسار كما يمكن تعيين معامل إمتصاص وسط تمر به بمعلومية قانون الامتصاص.

$$I = I_0 \exp(-\alpha x)$$

حيث I_0 شدة الموجة الصوتية الساقطة على وسط سمكه x ومعامل إمتصاصه α وشدتها بعد النفاذ I .

والموجات الصوتية تنتشر من مصدرها فى جميع الاتجاهات وتقل شدتها كلما بعدت عن مصدرها أى أن سعة الموجات تقل كلما بعدت عن المصدر حتى تتلاشى، ويحكمها فى ذلك قانون التربيع العكسى للمسافة أى أن شدة الموجات الصوتية ترتبط بالمسافة على الشكل.

$$I \propto \frac{1}{x^2}$$

حيث x هي بعد نقطة القياس عن مصدر الصوت.

الجسم البشرى طبلة (التطيل)

the body as a drum (percussion)

إستخدم التطيل منذ قديم الأزل فى أمور كثيرة منها إكتشاف ما إذا كان الشئ مسط أم أجوف فارغ أم مملوء، كما أستخدم التطيل على ما صدر المريض وظهره وبطنه لمعرفة ما إذا كان الموضع صحيح أم معتل، ويعتمد ذلك ذلك على حساسية أذن

◆ (الباب الثامن) - (الموجات الصوتية في الطب) ◆

ضبيب وقدرتها على التفرقة بين الأصوات الصادرة من التطبيل لتشخيص الحالة من حل صحيحة أو حالة مرضية، وطبيعي أن يكون الصوت المحدث معتمدا على صدره كما ويكون معتمدا على نوع المرض من حيث الشدة والخفوت وتفسير ذلك يرجع إلى خبرة المعالج ويقال أن أحدهم أستطاع أن يشخص ورم غير حميد عند اكتشافه لأصوات مرتدة كما لو كانت مرتدة من فراغات في العضو المعنى من الجسم وتم التأكد من ذلك بعد الوفاة، وما زال التطبيل من الأدوات المستخدمة لدى كثير من أطباء الباطنة والصدر وأطباء الأعصاب الذين يستخدمون التقدير بدلا من التطبيل.

سماعة الطبيب The stethoscope

وهي أداة مساعدة للطبيب في سماع أصوات تصدر داخل الجسم كما يحدث في القلب والرئتين.

وتسمى هذه العملية بالتسمع (mediate auscultation or auscultation)، وكانت هذه العملية قديما تتم بالتسمع المباشر على الصدر بالأذن، ثم استخدمت بعد ذلك أنابيب من مواد كثيرة لأداء الغرض.

والسماعة في شكلها الحالي تتكون من جرس bell قد يكون مفتوح أو مغلق بغشاء رقيق diaphragm والأذنية (earpies) ويرتبط كل من الجرس والأذنية بأنبوب (tubing).

والجرس تكون ممانعته متلائمة بين الجلد والهواء وبه تجمع الأصوات من مساحة الجلد التي يغطيها، والجلد تحت الجرس المفتوح يعمل كما لو كان غشاء رقيق والغشاء من الجلد له تردد طبيعي يسمى تردد الرنين (Resonating) عنده تنتقل الأصوات والعوامل الخاصة لهذا التردد هي الطول وقوة الشد، وبذلك كلما أردنا سماع الصوت بوضوح فإننا نغير قطر الجرس وكذلك قوة الضغط عليه في اتجاه الجلد، وبذلك نستطيع سماع ضربات القلب وإن كانت همسات (murmur) وفي حالة الجرس المغلق يكون لغشاءه الرقيق تردد رنيني خاص ومعروف، وتستخدم السماعة التي بها جرس

مغلق فى سماع صوت الرئتين لأن ترددهما أعلى من تردد الصوت الصادر من القلب. ونظراً لأن الأصوات تنتقل من مصدرها عبر السماعه إلى أذن الطبيب فإنه من المستحسن أن يكون حجم الجرس أقل ما يمكن لتحسين الأداء فى ضوء العوامل الحاكمة من حيث أنه كلما قل الحجم زاد الضغط.

وبفضل أن يكون حجم الأنبوبة التى ينتقل خلالها الصوت من الجرس صغير أى أن طولها ومساحة مقطعها فى أقل بعد منها، إلا أن الصوت المفقود فى جدران الأنبوبة بالاحتكاك يزداد بنقصان نصف قطرها والعكس صحيح وعموماً فإنه فى الحالتين تتأثر كفاءة السماعه، وقد وجد أنه تحت 100 ذبذبة/ ثانية فإن طول الأنبوبة لا يؤثر على الكفاءة.

والأذنية يجب أن تكون مناسبة للأذن (snugly) حيث أن تسرب الهواء إلى داخل الأذن يقلل الصوت المسموع بالإضافة إلى دخول الأصوات الخارجية إلى الأذن يقلل من كفاءة التسمع ويعطى فرصة لتداخل الأصوات.

الموجات فوق الصوتية ultrasonic waves

يوجد فى الطبيعة مواد صلبة تتفرد بخواص مميزة، فقد وجد أن بلورات الترمالين إذا ما تأثرت بقوة ميكانيكية من ضغط أو شد فإن شحنات كهربية متساوية ومتضادة تظهر على السطحين المتقابلين الذى وقعت عليهما القوى الميكانيكية ويسمى هذا الأثر ببيزو الكهربي (piezoelectric effect)، كما وجد أن هذه البلورات إذا ما ترسبت على سطحها المتقابلين شحنات كهربية متساوية ومتضادة فإن أبعادها تتغير بالزيادة أو بالنقصان ويصاحب هذه الحركة البندولية انبعاث موجات ميكانيكية غير مسموعة ولكن يظهر أثرها وتردداتها فى المدى فوق المسموع أى أعلى من 20 كيلو ذبذبة/ ثانية وأنها موجات فوق صوتية.

لذلك إستخدمت هذه المواد كمصدر للموجات الصوتية بوضعها تحت تأثير مجال

◆ (الباب الثامن) - (الموجات الصوتية في الطب) ◆

كهربي عالى التردد، فتكون الموجات الصادرة منها موجات قصيرة وطاقتها عالية، ونظراً لأن هذه المواد تعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية لذلك فهي تسمى بالمحولات (transducers). ولكل محول من هذه المحولات تردده الطبيعي الذى يعطى عنده رنينه وكلما كان هذا المحول رقيق فإن تردده الرنينى يكون أعلى.

والمواد المناسبة للاستخدامات الطبية هي التي تعطي تردد رنينى فى المدى (5-1 مليون ذبذبة/ ثانية)، وفى حالة الاستخدام يوضع مصدر الموجات فوق الصوتية على الجلد بمساعدة مادة تزيد إلتصاق المصدر بالجلد كما تساعد سرعة وسهولة إنتقال الموجات من المصدر إلى الجسم وتساعد على إلتقاط الموجات المرتدة من الجسم إلى الكاشف (the echoes back to detector) والكاشف هو نفسه المحول (Tranducer)، وعند إلتقاط المحول الموجات فوق الصوتية المرتدة من الجسم يتولد بين طرفيه فرق جهد متردد تظهر نبضاته على راسم الذبذبات حاملة معها كل خواص المكان الذى تسبب فى إنعكاسها.

وعادة تكون هذه النبضات ضعيفة لذلك يزود الجهاز بمكبر جهد ليكبر النبضات وتظهر على الشاشة مكبرة ويسهل تفسيرها.

وجهاز إكتشاف المواقع (السونار Sonar) من أهم التطبيقات وفيه يتم إرسال موجة صوتية إلى خارجه فإذا اصطدمت بعائق إرتدت إليه وبمعرفة زمن رحلة الذهاب (لحظة الإطلاق) وزمن رحلة العودة (لحظة إستقبال الموجة المرتدة وبمعرفة سرعة الصوت فى الوسط الذى تحركت فيه الموجات ذهاباً وعودة) فإن بعد العائق عن مصدر الصوت يمكن تعينه. وهذا ما يتم فى تحديد مواقع الغواصين أو العوائق للسفن تحت الماء.

وعلى هذا النسق يتتبع الخفاش الموجات المرتدة ليهتدى إلى سبيله وإلى غذائه فى ظلمة الليل.

ويستخدم هذا الجهاز فى الطب بإرسال موجات فوق صوتية إلى داخل الجسم

وإستقبال الموجات المرتدة من الجزء من الجسم المراد دراسته بما يسمى الماسح A (A-scan) وذلك للحصول على معلومات تفيد التشخيص.

وهذا النوع يكون تردده فى المدى (4000-10000 ذبذبة/ ثانية).

ونظراً لأن الموجات الفوق صوتية المرسله إلى الجسم عند عودتها يمتص جزء كبير منها حسب القانون الأسى للإمتصاص فإن الصدى العائد يكون ضعيف ويلزم تكبيره كما أسلفنا حتى تكون النبضة الكهربائية التى تتبعث من جراه واضحة وما عليها من معلومات مفيدة.

والمشكلة الثانية فى إستخدام الموجات فوق الصوتية هى أن قوة فصل الموعات المتجاورة والدقيقة يكون صعب، أى أن التضاريس الداخلية المطلوب دراستها يصعب فصل صورها بعضها عن بعض لدقتها، وعموماً فإن التراكيب المختلفة لأجزاء الجسم الداخلية والتى أبعادها تقل عن الطول الموجى المستخدم يصعب فصلها وتفسيرها. ونظراً لأن الطول الموجى والتردد وسرعة الانتشار للموجات الفوق صوتية تربطهم العلاقة:

$$v = \lambda \cdot f$$

حيث λ الطول الموجى، v سرعة إنتشار الموجات فى الماء، f التردد

فإن الموجات الفوق صوتية كلما كانت أقصر أى ذات تردد عالى يكون قوة فصلها للتراكيب المختلفة الداخلية لأجزاء الجسم تكون أكبر.

وتستخدم الموجات فوق الصوتية لعمل مخطط للمخ (echoencephalo- graphy) لإكتشاف أورام المخ حيث يتم إرسال نبضات الموجات فوق الصوتية من منطقة سمكها رفيع فوق الأذن بقليل ثم إستقبال الصدى من أى مكان على الرأس بعد تكبيره على راسم الذبذبات (CRO)، والطريقة المعتادة هى مقارنة الصدى المستقبل من جهة اليمين مع الصدى المستقبل من جهة اليسار فى

◆ (الباب الثامن) - الموجات الصوتية في الطب ◆

الرأس ونبحث عن إزاحة خط المنتصف وحيث تتجه الإزاحة يكون الورم في الاتجاه المضاد، أما إذا كان نصفي الرأس متماثلين والنبضات الناتجة عن الصدى على أبعاد متماثلة من خط المنتصف فإن الحالة طبيعية (تكون إزاحة خط المنتصف في حدود 2-3 ملليمتر).

ويجب أن نتجنب الخطأ في قراءة المخطط وذلك بتسجيل المخطط مرتين إحداهما بإرسال النبضات من فوق الأذن اليمنى وإستقبال الصدى من كل مكان ثم نعاد التجربة بإرسال النبضات من فوق الأذن اليسرى وإستقبال النبضات من كل مكان ومقارنة النتائج حتى نتحقق من الإزاحة في نفس الجهة مهما تغير مكان إرسال النبضات وأن مقدار الإزاحة بين 2-3 ملليمتر.

كما يجب مراعاة أن الرأس متماثل حول المحور خوفاً من التشخيص الخطأ.

ويستخدم الماسح A (A-scan) في أمراض العيون (ophthalmology) هدفين:

1. الحصول على معلومات تفيد في تشخيص علاج العين.

2. معلومات تفيد في قياسات أبعاد العين.

وتستخدم الموجات فوق الصوتية ذات التردد العالي لتحقيق قوة فصل مناسبة والآن يستخدم الماسح B (B-scan) حيث نحصل على صورة في بعدين على الشاشة أو تطبع الصورة إذا لزم الأمر، وبذلك نحصل على معلومات دقيقة عن تراكيب الجسم الداخلية وأجزاءه مثل الصدر، الكبد، الطحال، الكلى، القلب والأجنة في مراحلها المختلفة إعتباراً من الأسبوع الخامس وحتى الولادة، كما تحقق الموجات فوق صوتية قدر من الأمان إذ ليس لها أعراض جانبية مثل الأشعة السينية في المدى المسموح به.

كل هذه المعلومات الآن تخزن في ذاكرة الحاسب حيث أن جميع وحدات الماسح B مزودة بحاسب وتعطي صورة تراكيب الجسم بالألوان ليسهل المقارنة والتشخيص.

الآثار الحديثة بالموجات فوق الصوتية للعلاج

Effects of Ultrasound in Therapy

آثار عديدة تحدثها الموجات فوق الصوتية أثناء العلاج، وهذه الآثار تحدث آثاراً فسيولوجية (physiological) تعتمد على تردد الموجات فوق الصوتية، وفي حالة استخدام موجات فوق صوتية شدتها ضعيفة ($0.01\text{W/cm}^2 - 20\text{W/cm}^2$) لا يوجد لها أية آثار ضارة.

وأول الآثار الناتجة هو إرتفاع درجة حرارة الأنسجة المعنية وإحداث تباین في الضغط، وذلك ناتج من إمتصاص الأنسجة للموجات الساقطة عليها، إلا أن الارتفاع في درجة حرارة الأنسجة يكون عند السطح يخزن بالكم الأكبر في عمق الأنسجة ولذلك يكون الأثر الأكبر في العظام والمفاصل (الروابط).

وعند تعرض الأنسجة للموجات الفوق صوتية فإنها تحدث فيها مناطق إضطراب حيث يتضاغط بعضها ويتخلخل بعضها زيادة في الضغط في مناطق وتناقص في الضغط في مناطق أخرى وذلك يحدث في مناطق متجاورة من الأنسجة، وهذا يؤدي إلى تمدد بعض الأجزاء، فإذا ما وصل هذا التمدد إلى الحد الغير مرن فإن هذا الجزء يتمزق (tears)، وهذا هو السبب في الخوف على طبلة الأذن من الموجات الصوتية البالغة الشدة (في العلاج الطبيعي تكون الشدة $1-10\text{W/cm}^2$ وتردد في حدود مليون نبضة/ ثانية) وشدة الموجات الفوق صوتية ترتبط بالتغير في الضغط بالعلاقة:

$$I = p^2 / 2Z$$

حيث P هو أقصى تغير في الضغط، Z هو ممانعة الموجات الصوتية للموجات التي شدتها I.

وقد وجد أن أقصى تغير في الضغط للتردد المذكور هو 5 جوى في خلال مسافة قدرها نصف موجة ($\lambda/2 = 0.7\text{nm}$) أى أنه تغير كبير في مسافة صغيرة جداً،

◆ (الباب الثامن) - (الموجات الصوتية في الطب) ◆

باستخدام ترددات أعلى من ذلك فإن الطاقة العالية تصل إلى جزيئات الأنسجة بسرعة كبيرة، وبذلك تكتسب الحبيبات طاقة كبيرة بحيث تتكسر الروابط الكيميائية بينها حتى وإن كان الشعاع المستخدم من موجات فوق صوتية عال الشدة بدرجة كبيرة فإنه يحول الماء إلى هيدروجين (H_2) وفوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) وتسبب تمزيق جزيئات الـ DNA، ويكون كل ذلك بسبب إحداث تغير في زيادة الضغط الذي قد يصل إلى عشر أمثال قيمته الجوية.

من الجانب الآخر في المناطق التي يحدث فيها تخلخل من الأنسجة حيث يقل الضغط إلى حد أن يكون ضغط سالب فإن الغازات تذوب وتخرج على شكل فقاعات، وتسمى هذه الفقاعات بالحوصلات (Cavitation) وهي التي تكسر الروابط بين الغازات والأنسجة وعند تكسر هذه الفقاعات مرة أخرى يتولد منها طاقة تكسر روابط أخرى جديدة، وقد يؤدي إلى عملية أكسدة (إحتراق). وهذا يتم باستخدام موجات فوق صوتية شدتها عالية (10^3 w/cm^2) جيدة التصويب لتصل إلى عمق لإقتلاع شئ ضار من الجسم.

النطق بالكلام production of speech

الصوت المسموع من الكلام يحدث بتهدة الهواء الخارج من الرئتين، ويحدث هذا بمرور الهواء من الرئة على الأحبال الصوتية (vocal folds (cords ثم على فراغات عديدة ثم إلى الخارج عبر الفم وفي أحيان قليلة عبر الأنف، والذي يحدث بهذا الشكل يسمى بالصوت الحنجري (sound voiced) وبعض الأصوات تتشكل في الفم وهذه تسمى بأصوات غير حنجرية (unvoiced sounds) وتتشكل فقط من خلال حركة الشفاه، الأسنان واللسان وسقف الحنك.

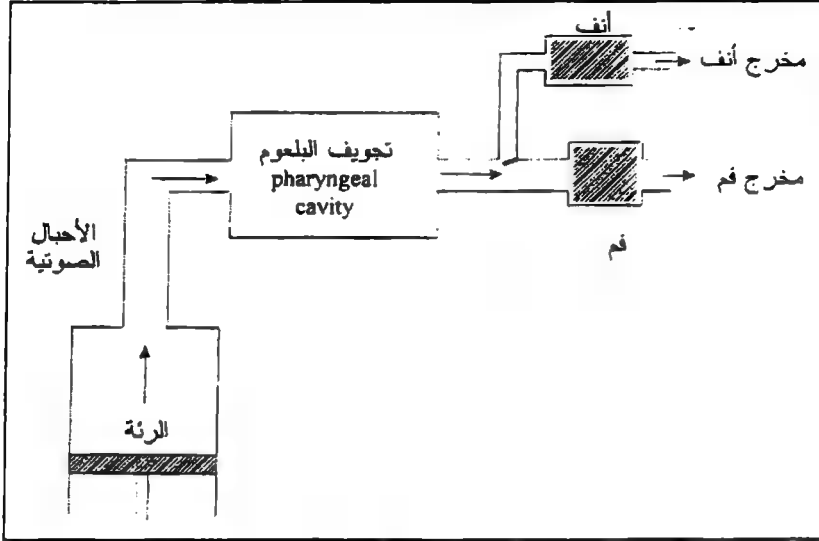
والمسار الصوتي الحنجري يبدأ بدفع الهواء من الرئة ليمر على الأحبال الصوتية حيث يبدأ تشكيل الكلام (ذبذبات الأحبال الصوتية) ثم يمر بعد ذلك على غرف تشكل الكلام وتطوره وتحسنه وتصفيته وتخرجه عبر المخارج. والأحبال الصوتية موجودة،

فى القصبة الهوائية عند الزور (larynx) عند تفاحة آدم (Adam's apple)، وعند عملية التنفس (الشهيق) تتباعد الأحبال الصوتية حيث تتكون فتحة واسعة مثنتية، وعند إحداث الكلام تتقارب الأحبال الصوتية بفعل العضلات ويندفع الهواء من الرئتين خارجاً فى عملية الزفير حيث يرتفع الضغط أسفل الأحبال الصوتية المتلاصقة ويجبرها على إنفراج بسيط فيندفع الهواء خلال الفتحة الصغيرة سريعاً إلى الأعلى (حسب معادلة الاستمرار) ويقل الضغط أسفل الأحبال نتيجة لذلك ونقص الضغط هذا بالإضافة إلى مرونة الأنسجة يودى إلى حركة الحبال الصوتية معاً مما يقلل مرور الهواء وتقليل سرعته، هذه العملية بدورها تؤدي إلى زيادة الضغط تحت الأحبال الصوتية مرة أخرى وتبدأ العملية من جديد، ويعتمد التردد الذى يحدث فى الأحبال الصوتية على كتلتها وقوة شدها بإعتبار أن طولها ثابت للشخص الواحد (عوامل حاكمة فى الأوتار المتحركة)، والرجال تكون أطوال وكتلة الأحبال الصوتية لديهم أكبر من النساء والتردد الأساسى للأحبال الصوتية لديهم فى حدود 125 ذبذبة/ ثانية أما فى السيدات فيكون 250 ذبذبة/ ثانية، والصوت يمر بعد ذلك على عدة غرف صوتية هى الزور (throat of pharyngeal) والفم (oral) أو الأنف (nasal)، والزور والأنف لا يغيران من الصوت كثيراً إلا أن إستسقاء الأنسجة بهم (swelling) قد يغير التراكيب الداخلية لهم فيحدث تغير فى الصوت، ولكن عند مرور الصوت فى تجويف الفم فإن تغير كثير يحدث للصوت بحركة اللسان، الأسنان والشفاه وسقف الحنك والفك وذلك ليخرج الكلام بالشكل الذى تريده حيث يُعبر عن فكرة فى داخل المخ والصوت يظهرها ويوضحها، حيث يتم التبادل بين المتحدثين فى الفكر بواسطة الصوت.

والكلام هذا يحتاج طاقة وبذل شغل وقد وجد أن أبسط الجمل تحتاج إلى طاقة قدرها 3.5×10^{-5} جول وهذا القدر القليل من الطاقة يحدث فى زمن قدره ثانيتين، والقدر اللازم لإخراج هذه الجملة فى حدود 15 ميكروترات، والإنسان المحب للكلام إذا تكلم لمدة عام بشكل مستمر لا يفقد من الطاقة قدر ما يفقده موقد لجليان كوب شاي، والأذن لفرط حساسيتها تسمع الأصوات شديدة الخفوت والأصوات الخافتة هذه تحتاج

◆ الباب الثامن- الموجات الصوتية فى الطب ◆

قدرة كبيرة عند الكلام العادى لذلك تسمع بسهولة، الشكل (1-8) يوضح مسار الصوت الحنجرى أو الصوت المزمارى glottal sound فى نموذج تخيلى.



شكل (1-8)

الباب التاسع

فيزياء الأذن والسمع

Physics of the ear and hearing

الباب التاسع

فيزياء الأذن والسمع

Physics of the ear and hearing

مقدمة

السمع والكلام وسائل التواصل، والأذن حساسة جداً حيث تسمع موجات صوتية ضعيفة جداً، ويخدم الأذن في عملية السمع العناصر الآتية:

1. النظام الميكانيكي الذي يؤثر على الخلايا الشعيرية في قوقعة الأذن.
2. المجسات العصبية (sensors) التي تعطي جهد الحدث (action potential) في العصب السمعي (auditory nerves).
3. المركز السمعي (auditory cortex) الذي يستقبل النبضات السمعية من العصب السمعي ويفسرها في المخ.

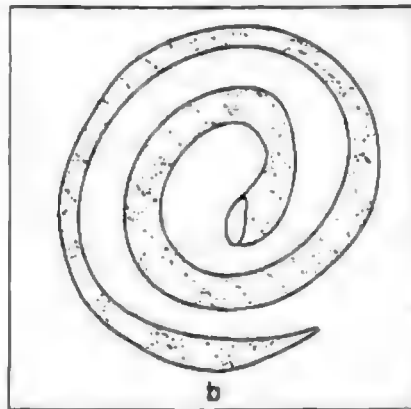
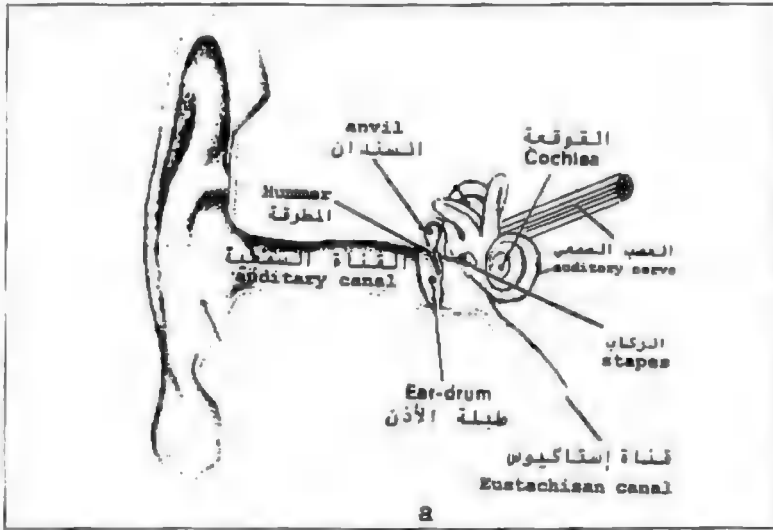
وفقدان أى عنصر من العناصر السابقة لمهمته يحدث الصمم.

والأذن مصممة بدقة فائقة لتحويل كل الذبذبات الميكانيكية مهما كانت ضعيفة إلى نبضات كهربائية تسرى في العصب السمعي، وتنقسم إلى ثلاثة أذان:

1. الأذن الخارجية outer ear

وهي تتكون من الصوان (pinna) والقناة السمعية (auditory canal) وفي نهايتها من الداخل طبلة الأذن (ear drum or tympanic membrane)، والقناة السمعية طولها 2.5 سم وقطرها أقل من 1 سم وتعمل عمل أنبوبة مغلقة من طرف واحد وبالتالي يكون عمود الهواء المهتز عند تردده الأساسى طوله ربع طول الموجة الصوتية $(L = \lambda/4)$ وبالتالي يكون تردده الأساسى $(f = v/4L)$. حيث v سرعة

الصوت فى الهواء، L طول القناة السمعية، f التردد الأساسى. وطبلة الأذن مساحة مقطوعها 65 مم^2 وسمكها 0.1 مم ومهمتها توصيل الذبذبات الناتجة عن الموجات الصوتية من جانبها الخارجى فى الأذن الخارجية إلى جانبها الداخلى فى الأذن الوسطى. وتتراوح سعة نبضة طبلة الأذن من 10^{-3} إلى 10^{-9} مم وذلك عندما يتغير التردد من 20 إلى 3500 نبضة فى الثانية، وإذا زاد ضغط الموجات الصوتية على طبلة الأذن فقد تتمزق إلا أنها تشفى وتعود إلى مهمتها.



شكل (1-7)

2. الأذن الوسطى the middle ear

تتكون من ثلاث قطع عظمية (ossicles) صغيرة وجميعها يكتمل نموها قبل الولادة حيث يسمع الجنين وهو في المشيمة وتكون أولها على شكل مطرقة (malleus or hammer) والوسطى السندان (incus or anvil) والثالثة الركاب (stapes or stirrup) ومهمتها نقل الذبذبات الصوتية من طبلة الأذن إلى الأذن الداخلية مهما كانت ضعيفة والضغط الناشئ من طبلة الأذن على مطرقة يكبر بواسطة هذه العظيومات عند دخول الذبذبات إلى الأذن الداخلية من الفتحة البيضاوية (oval window) وذلك لكونها تعمل عمل رافعة من جانب ومن الجانب الآخر فإن قوة ذبذبات طبلة الأذن تعطى ضغطاً صغيراً لكون مساحتها كبيرة (65 مم²) وهذه الذبذبات تنتقل من المطرقة إلى السندان ثم إلى الركاب الذي يضغط على غشاء الفتحة البيضاوية بقوة تحدث ضغطاً كبيراً لصغر المساحة التي يضغط عليها الركاب، ومرونة طبلة الأذن تساعد على ذلك حيث تقلل الممانعة في المدى الترددي 500 إلى 5000 ذبذبة في الثانية، وهذه العظيومات لها دور في حماية الأذن من الآثار السيئة للأصوات العالية وذلك بإمتصاصها في هيكلها وروابطها المرنة، وتتصل بالأذن الوسطى أنبوبة ضيقة تسمى قناة إستاكيوس تصلها بالبلعوم وتعمل على مساواة الضغط على جانبي طبلة الأذن ويسبب إمتصاص الهواء في أنسجة الأذن الوسطى إنخفاض الضغط على طبلة الأذن من الداخل إلا أن حركة عضلات الوجه أثناء البلع والتثاؤب والمضغ تؤدي إلى فتح قناة إستاكيوس (Eustachian tube) ومن ثم يتعادل الضغط مرة أخرى على جانبي طبلة الأذن والفرق في الضغط الذي يحدث أثناء الصعود إلى جبل أو الصعود في مصعد أو ركوب طائرة يسبب الألم وينصح بفتح الفم أثناء ذلك، وإذا حدث وأغلقت فتحة إستاكيوس لأي سبب فيجب إتخاذ التدابير اللازمة للعلاج.

3. الأذن الداخلية The inner ear

الأذن الداخلية في وضع آمن لوجودها داخل عظام الجمجمة، وهي تتكون من قوقعة صغيرة حلزونية مملوءة بسائل، وتتصل بالأذن الوسطى باللتصاق غشاء الفتحة البيضاوية مع الركاب، والقوقعة تتصل بالمخ بواسطة العصب السمعي

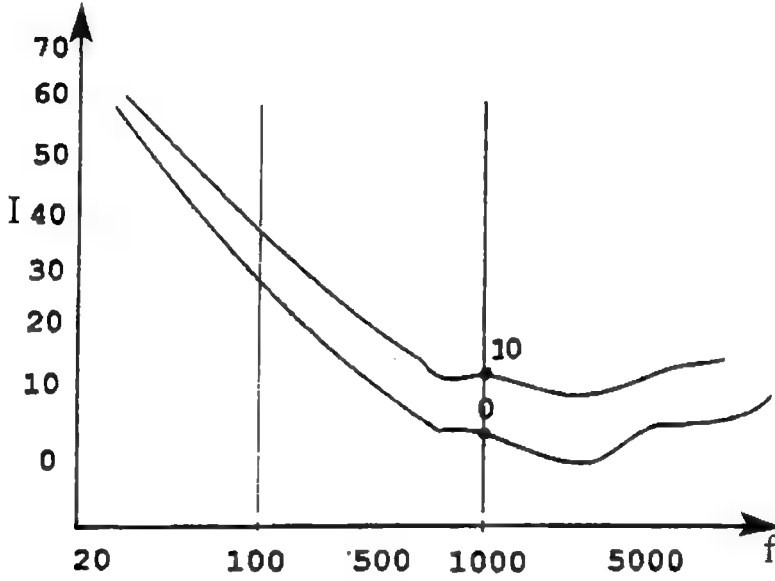
(auditory nerve) وهذا العصب يكون من حزمة عصبية فيها 8000 محور عصبى توصل النبضات الكهربائية إلى مركز السمع فى المخ (auditory cortex) وحجم القوقعة تقريبا فى حدود حجم طرف الإصبع الصغير فى اليد وعند بسط القوقعة على إستقامة واحدة يكون طولها فى حدود 3 سم.

فيزياء السمع physics of hearing

الحركة التذبذبية للركاب (stapes) تنتقل إلى السائل داخل القوقعة (cochlea) من خلال غشاء الفتحة البيضاوية (oval window) الذى بدوره يؤثر الخلايا الشعرية المتصلة بنهاية العصب السمعى (auditory nerve) أو بالعصب اللحاءى (the organ of cortex) والنبضات الكهربائية المتولدة فى هذه العملية تنتقل إلى المخ حيث يحدث الإحساس بالسمع.

وإنتقال الذبذبات الصوتية من الأذن الخارجية إلى السائل الموجود فى القوقعة cochlear fluid يصاحبه تكبير فى الضغط كما ذكرنا فى الأذن الوسطى الذى يؤثر على الغشاء ثم ينتشر على طول غشاء مبطن لقاعدة القوقعة وسمكه رقيق عند التحامه مع غشاء الفتحة البيضاوية (oval window) ويزداد سمكه كلما بعدنا عن ذلك، والجزء الرقيق منه مسئول عن الإحساس بالذبذبات ذات الترددات العالية وكلما زاد السمك على طول هذا الغشاء كلما إزداد الإحساس بالترددات الأقل فالأقل، أى أن لكل جزء من هذا الغشاء ترددات معينة يستشعرها ولايستجيب لغيرها، وكذلك تكون النبضات الكهربائية التى يرسلها العصب السمعى إلى المخ محددة التردد بالموضع الذى تأثر بها فى الغشاء المبطن لقاعدة القوقعة (basilar membrain) وإستجابة الأذن للموجات الصوتية يعتمد على كل من التردد ومستوى شدة الصوت ومثال ذلك الصوت الذى تردده 1000 ذنبية/ ثانية تستقبله الأذن الطبيعية فيقابل مستوى شدة قدره صفر ديسبل (0dB) أو 10^{-12} W/cm^2 ونفس الأذن تستقبل صوت تردده 100 ذنبية/ ثانية إذا كان مستوى الشدة 37 ديسبل (37Db) $5 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2$ والشكل (9-2) يوضح

العلاقة بين مستوى شدة الصوت والتردد الذى يكاد يسمع (barely audible) فيما يسمى بمنحنى حد الإسماع (curve Threshold hearing).



شكل (2-9)

كما أنه يبين العلاقة بين مستوى شدة الصوت ودرجة إرتفاع الصوت loudness level، مثال ذلك إذا كان المستمعين لصوت تردده 1000 ذبذبة/ ثانية بشدة قدرها 10 ديسبل بدرجة إرتفاع صوت معينة فإنهم يستمعون إلى صوت تردده 100 ذبذبة/ ثانية بنفس درجة إرتفاع الصوت ولكن بمستوى شدة صوت قدرها 37 ديسبل مثلاً، ويشعرون بنفس الإحساس.

إختبار السمع Test of hearing

يتم إختبار السمع فى مكان معد لذلك إعداد تماماً، كما يجب أن يتم إختبار كل أذن على حده وذلك بإستخدام وحدات سمع دقيقة، ويدرب الشخص فى الإختبار أن يعطى إشارة عند سماعه صوت الإختبار، ويتم إختبار ترددات بين 200 إلى

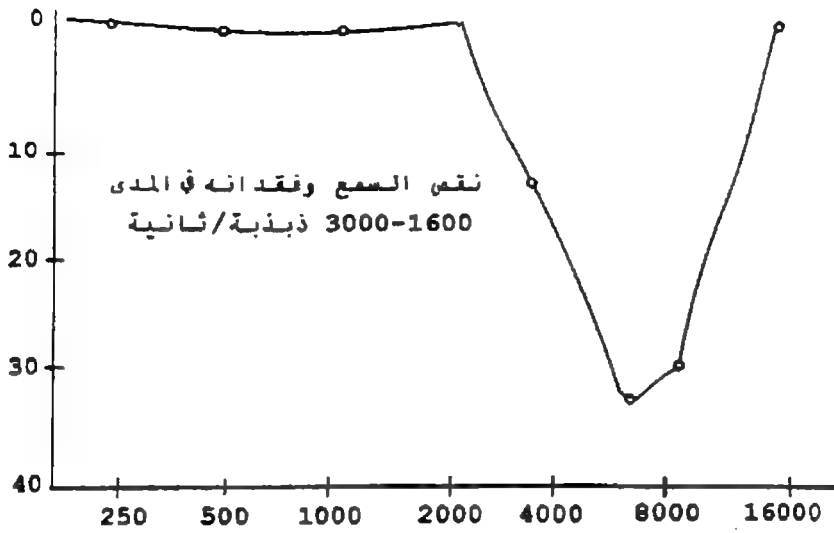
8500 ذبذبة/ثانية وعند كل تردد يجب رفع الصوت وخفضه بشكل تدريجي حتى يحدث الإسماع فى حده الحرج، وتكرر هذه العملية على جميع الترددات المتاحة.

ترسم العلاقة بين الترددات وحد الإسماع الحرج (level hearing threshold) ومقارنتها بمثلها مع تلك فى الظروف الطبيعية، وحد الإسماع الحرج الطبيعى يؤخذ على أن مستوى شدة الصوت صفر ديسبل (odB) شكل (a3-9).



شكل (a3-9)

و شكل (b3-9) يوضح أن الشخص تحت الاختبار يحتاج لعلاج السمع فى المدى الترددى 3500 إلى 16000 ذبذبة/ ثانية، وقد يكون سبب ذلك هو أثر مرضى على هذا الجزء من الأعصاب التى تتأثر بهذا المدى من التردد فى الغشاء المبطن لقاعدة القوقعة (basilar membrain of the cochlea).



شكل (b3-9)

الصم ووسائط الإسماع (deafness and hearing aids) :

المحادثات اليومية بين البشر تقع معظمها في المدى الترددي 400 إلى 4000 ذبذبة/ ثانية وبذلك لا يعتبر أصم كل من إستطاع تبادل الأحاديث في هذا المدى ولو كان أصم فيما حولها من الترددات ولا يعتبر أيضاً في سمعه صعوبة، والأشخاص الذين حدّ إسماعهم الحرج في حدود 30 ديسبل (30db) أشخاص طبيعيين وليس لديهم مشكلة في السمع، والأشخاص الذين حدّ إسماعهم الحرج في حدود 90 ديسبل (90dB) هم صم كالحجر (stone deaf) والأشخاص الذين حدّهم السمعي الحرج بين 50-90 ديسبل يحتاجون مساعدات سمع ليسمعوا الأصوات العالية ولكن مشاكلهم تكمن في سماع الأصوات المنخفضة وعموماً مشاكل السمع تزداد بتقدم السن. ومستوى شدة الصوت المتوسط حوالي 60 ديسبل (60dB) وتؤثر عليه الضوضاء في الوسط المحيط (يزداد بزيادة الضوضاء وينقص بنقصانها) وبذلك قد يصل مستوى شدة

الصوت إلى 40 ديسبل فى غرفة هادئة وقد يصل إلى 80 ديسبل (80dB) فى مكان به ضوضاء عالية.

والأشخاص الذين يعانون صمم عند حزمة ترددية معينة يسمعون أصوات خافته جداً فيما حولها ولا يسمعون عندها ولو كانت أصوات صاخبة.

وهناك نوعين من قلىلى السمع (reduced hearing) :

1. عدم وصول الإسماع Conduction hearing loss:

وفى هذا النوع لا تصل الذبذبات الصوتية إلى الأذن الداخلية وقد يكون السبب إنسداد القناة السمعية بكتلة شمعية ملتصقة بطبلة الأذن فتؤثر على مرونتها، أو قد يكون السبب تغير فى عامل اللزوجة فى السائل فى الأذن الوسطى لأى سبب أو تيبس العظيماى الصغيرة (ossicles) فى الأذن الوسطى أو أحدهما، وجميع هذه الأسباب ممكن علاجها أو إجراء جراحة لعلاجها، وحتى فى حالة عدم جدوى العلاج فإنه يمكن استخدام مساعدات الإسماع لنقل الأصوات عبر الجمجمة إلى الأذن الداخلية.

2. فقدان العصب السمعى Nerve hearing loss

وفى هذه الحالة يصل الصوت إلى الأذن الداخلية ولكن لا يعطى العصب السمعى أية نبضات (no nerve signals) إلى المخ، وقد يحدث هذا الحزمة تردديه أو حزمتين أو أكثر أو لكل الترددات. ومساعدات الإسماع كثيرة من بينها لغة الشفاه (lip-read) وهى مراقبة حركة الشفاه والوجه للتعرف على نوع الحديث الدائر قدر الإمكان، وكذلك يعتبر من مساعدات الإسماع وضع اليد خلف الأذن لزيادة مقدار ما يتجمع من أصوات داخل صيوان الأذن وهذه الطريقة تزيد مستوى شدة الصوت بمقدار 7 ديسبل (7dB) فضلاً عما يحدث من إستجابة المتحدث لرؤية الفعل فيرفع صوته بما يساوى 10 ديسبل (10dB)، ويعتبر البوق من أول مساعدات الإسماع الصناعية حيث يجمع طرفه المتسع الموجات الصوتية ويركزها على القناة السمعية من الطرف الآخر

◆ الباب التاسع- فيزياء اللّون والسمع ◆

وهو يساعد على خفض مستوى شدة الصوت فيما يساوى 12 ديسبل (12dB)، وهذه الأداة غير شائعة لكون الإنسان لديه رغبة فى إخفاء عيوبه ومن بينها قلة السمع أو فقدانه (handicaps).

ومساعدات الإسماع الإلكترونية متوفرة فى هذه الأيام وقد أصبحت فى حجم صغير ويمكن وضعها خلف الأذن أو حتى تخبأ فى الشعر فيفيد ولا يؤذى.

والسماعة الإلكترونية تتكون من لاقط دقيق للأصوات (microphone) ومكبر لزيادة طاقة الصوت (amplifier) ومحدث (loudspeaker) ليوصل الأصوات التى رفعت طاقتها إلى الأذن، وبذلك يمكن الحصول على مستوى شدة فى حدود 90 ديسبل أو أكثر، وقد تم التوصل إلى أجهزة ترفع إلى حدود أكبر من ذلك الأمر الذى يجعل إمكانية الإسماع لشريحة كانت تعد من الصم ممكن مادام العصب السمعى فى حالة طبيعية، ومساعدات الإسماع لا تعيد السمع إلى حالته الطبيعية ولكنها تساعد فقط، ومعظم هذه المساعدات يمكن ضبطها بحيث تمكن مستخدمها من ضبطها عند التردد المناسب إلا أن المدى الذى تتغير فيه محدود ولا بد من تشخيص المدى المراد المساعدة من خلاله بواسطة المعالج.

الباب العاشر

فيزياء الجهاز الدوري

Physics of the cardiovascular system

الباب العاشر

فيزياء الجهاز الدورى

Physics of the cardiovascular system

مقدمة

الجهاز الدورى هو الجهاز الذى ينقل للجسم إحتياجاته من الطعام (الوقود) والأكسجين من كل من الجهاز الهضمى والجهاز التنفسى ويصلها إلى خلايا الجسم حسب إحتياجاتها، ويقوم أيضاً بنقل مخرجات الجسم إلى حيث يتم الإخراج، والدم يكون حوالى (8%) من كتلة الجسم (فى حدود 5 كجم لجسم يبلغ وزنه 65 كيلو جرام)، والأوعية الدموية مع القلب تكون الجهاز الدورى (cardiovascular system) ((cvs))، ولذلك فإن أول عضو ينمو فى الجنين هو القلب حيث يبدأ عمله بعد الأسبوع الثامن من بداية الحمل ويضخ الدم إلى جميع الأنسجة المتكونة فى الجنين، وفى هذه الفترة يحصل الجنين على إحتياجاته من الأكسجين من الأم عن طريق الحبل السرى حيث لا يصل إلى رئتى الجنين إلا حوالى 10% من الدم، وبعد الولادة يبدأ الدم الداخلى للرئتين فى الزيادة، وإذا حدث أن الدم كان غير مؤكسد بشكل غير كاف فإن الرضيع يكون لونه أزرق (blue baby)، وكثيراً من تخصصات الطب يكون له رأى فى قضايا الجهاز الدورى، مثل أطباء القلب، وأطباء الباطنية والمسالك البولية والكلى.

والقلب عبارة عن مضختين (double pump) لإعطاء القوة اللازمة لتدوير الدم فى دورتى الدم الرئيسية فى كل من الرئتين وباقى أجزاء الجسم، ويدور الدم فى الرئتين بواسطة القلب قبل أن يبدأ النصف الثانى فى ضخ الدم إلى باقى أجزاء الجسم.

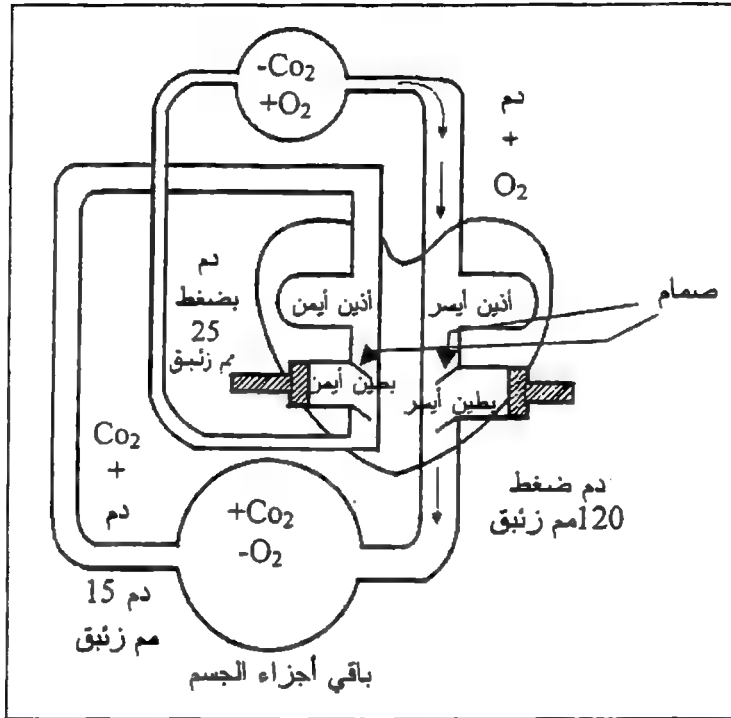
ويضخ الدم من القلب بعد إنقباض عضلة من البطين الأيسر بضغط قدره 120 مم زئبق إلى الشريان الذى ينقسم إلى شرايين أدق فأدق وأدق (arterioles) ثم فى النهاية إلى شعيرات دقيقة جداً عبارة عن شبكة (mesh work) من الشعيرات الدموية تسمى صغيرة شعيرية (capillary bed)، وبذلك يصل الدم من القلب إلى هذه الصغيرة الشعيرية فى ثوان قليلة حيث يمد الخلايا بالأكسجين (O_2) ويأخذ منها ثنائى أكسيد الكربون (CO_2). وبعد أن يحمل الدم بثنائى أكسيد الكربون يتجمع الدم فى أوردة دقيقة (small veins (venules)) التى تتحد لتكون أوردة أكبر فأكبر قبل أن تدخل الجانب الأيمن من القلب من خلال الأوردة الرئيسية، الوريد الأجوف والوريد البابى، والدم الوارد من الجسم يخزن فى الأذين الأيمن لحظياً (right atrium) ثم ينقبض ويضغطها فى حدود 5 مم زئبق ليسرى إلى البطين الأيمن (right ventricle) الذى ينقبض لدفع هذا الدم إلى الرئتين بضغط قدره 25 مم زئبق، حيث يصل إلى الشعيرات الدموية على سطح الحويصلات الهوائية فى الرئتين ويتم التخلص من ثنائى أكسيد الكربون ثم يحمل الدم الأكسجين والدم المحمل بالأكسجين ينتقل خلال الأوردة الرئيسية من الرئتين إلى الأذين الأيسر وبضغط قدره 8 مم زئبق فينتقل الدم إلى البطين الأيسر الذى يدفعه بضغط قدره 120 مم زئبق للجسم مرة أخرى.

والدم يندفع فى قبضة واحدة من نقطة إلى أخرى (أذين، بطين...) يكون حجمه فى حدود 80 مللى لتر، وجملة حجم الدم فى الجسم فى حدود 5 لتر فإن دورة الدم من البطين الأيسر إلى نفس البطين تستغرق حوالى دقيقة واحدة وصمامات القلب معدة بحيث يسرى الدم فى إتجاه واحد، فإذا حدث خلل فى الصمامات من حيث عدم الإغلاق أو الفتح أو الخلق الجزئى فإن مقدرة القلب نقل والتقدم التقنى سهل مهمة جراحى القلب فى عمل ما يلزم من صيانة لتعود الأمور إلى نصابها أو قريب من ذلك.

وقد أثبتت الإحصاءات أنه فى أية لحظة يكون الدم منقسم بحيث يكون 20% منه فى الرئتين، 80% منه فى باقى أجزاء الجسم، والقسم الذى فى الجسم يكون 15% منه فى الشرايين، 10% فى الصغيرة الشعيرية، 75% فى الأوردة، والقسم الذى توجه إلى

◆ الباب العاشر- فيزياء الجهاز (الروري) ◆

الرنيتين يكون 7% في الشعيرات الدموية على سطح الحويصلات الهوائية، 93% منه منقسم بين الشرايين المغذية للرنيتين والأوردة القادمة منها وشكل (1-10) يوضح نموذج تخيلي للجهاز الدوري.



شكل (1-10)

والدم العائد من الجسم إلى القلب يكون خالي بقدر كبير من الأكسجين ولذلك يكون لونه أبيض محمر (bright red) في الأوردة وسبب زرقته في ظهر اليد واليد يرجع إلى كرمشة الجلد وتغير لون دم النزيف يرجع إلى أكسدته في وقت قصير جداً، ومعظم الدم في الجسم أحمر داكن، والدم يبدو للعين المجردة وكأنه سائل أحمر لزوجه أعلى من الماء والدم في حقيقة الأمر يتكون من :

1. اللون الأحمر ناتج عن كرات الدم الحمراء erythrocytes or red blood cell وعددها حوالي 5 مليون كرة حمراء في كل 1مم³.

2. صفائح دموية قطرها 3 ميكرومتر (flat discs) وعددها 300.000 في مم³.
 3. سائل شفاف يسمى بلازما الدم (blood plasma) ومزيج كرات الدم الحمراء وبلازما الدم يعطيان الدم خصائصه في السريان والتي تختلف عن باقي السوائل مثل الماء.
 4. كرات الدم البيضاء (leukocytes or whit blood cells) وهى فى حدود 8000 كرة/مم³، وهذا العدد يزداد فى بعض الحالات المرضية.
- والدم ينقل الهرمونات اللازمة للتحكم فى العمليات الكيميائية فى خلايا الجسم كما ينقل بعض الإلكتروليتات (أيونات المعادن) وعلى سبيل المثال كل 100 مللى لتر دم تحتوى على 10 مجم كالسيوم، وإذا قلت نسبة الكالسيوم عن (4-8) مجم/ 100 ملليلتر فإن الجهاز العصبى لا يؤدي دوره كما ينبغي وقد يموت الجسم بسبب تقلصات العضلات (muscle spasm or tetany).

وفيما سبق كانت خلايا الدم تُعد بوضع نقطة من الدم على شريحة زجاجية وتخفيفها بالماء وتُعد الخلايا تحت ميكروسكوب مناسب وهذه الطريقة غير دقيقة.

والآن نستخدم جهاز بنية فكرته على أن المحلول المخفف من الدم يوضع فى أنبوبة شعيرية وتمرر بين قطبين (electrodes) لقياس المقاومة الكهربائية لكرات الدم الحمراء أثناء مرورها، والتغير فى المقاومة الكهربائية يظهر على شكل نبضة كهربية تُعد فى حينها من خلال دائرة كهربية، وهذه الطريقة تعطى العدد بدقة مناسبة.

الشعيرات الدموية وتبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون

O_2 & CO_2 exchange in the capillary system

يعطى عمق الانتشار للدم فى الأنسجة بالعلاقة $D = \lambda \sqrt{N}$ حيث D عمق الانتشار، N عدد التصادمات، λ المسار الحر المتوسط بين تصادمين، ويكون عمق الانتشار فى الأنسجة أقل بكثير عنه فى الهواء، والشعيرات الدموية فى الضفيرة يكون

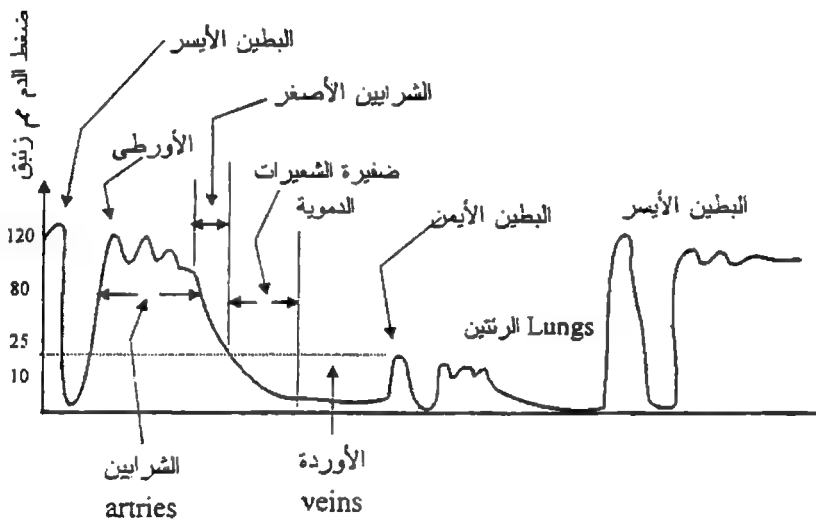
عندها كبير ويبلغ 190 شعيرة/ مم² ونصف القطر المتوسط للشعيرات الدموية حوالى 20 ميكرومتر وبذلك تبلغ المساحة السطحية للشعيرات الدموية فى واحد كيلو جرام عضلات حوالى 1-2 متر²، والدم يسرى فى الأنابيب الشعرية (الشعيرات الدموية) تحت تأثير ضغط هيدوستاتيكي يعمل على إخراج الدم من الشعيرات الدموية إلى الوسط المحيط بها والضغط الأسموزى (osmotic pressure) الذى يدخل السوائل إليها، والضغط الهيدروستاتيكي قيمته 30 مم زئبق عند أطراف الشرايين و 15 مم زئبق عند نهاية الأوردة، والضغط الأسموزى قيمته 20 مم زئبق وإذا تغير ضغط الدم فى الشعيرات الدموية بسبب تصادم أو صدمة (trauma) وتزداد السوائل فى الأنسجة المتضررة وتسبب الاستسقاء (swelling or edema).

وبسبب تغير الضغط داخل الشعيرات الدموية وتغير الضغط الأسموزى الخارجى يتم إيصال الأكسجين للأنسجة وتحميل الدم بثانى أكسيد الكربون الذى يفرغه فى الرئة من خلال الشعيرات الدموية فى الحويصلات الهوائية بالرئة ويحمل مرة أخرى بالأكسجين.

الشغل المبذول بواسطة القلب Work done by the heart

يدفع القلب حوالى 80 مللى لتر من الدم إلى الرئة فى كل نبضة من البطين الأيمن ومثلها من البطين الأيسر إلى باقى أجزاء الجسم، وفى هذه العملية يبذل القلب شغلاً، بينما يكون الدم فى جزئى المضخة فى القلب غير متساوى، ففى الرئة والجهاز الرئوى يكون ضغط الدم قليل وذلك لكون مقاومة الأوعية الدموية قليلة ويكون ضغط الدم هذا فى حدود لكون مقاومة الأوعية الدموية قليلة ويكون ضغط الدم هذا فى حدود 25 مم زئبق أى فى حدود خمس ضغط الدم فى دورة الدم الكبرى، وبذلك يكون ضغط الدم الذى يندفع إلى باقى أجزاء الجسم فى دورة الدم الكبرى فى لحظة انقباض البطين الأيسر 120 مم زئبق وفى حالة إستراحة (diastole) دورة القلب (cardiac cycle) يكون ضغط الدم 80 مم زئبق وقد أعدت جدران البطين الأيسر لتكون قادرة على ذلك

من قوة العضلات اللازمة لدفع الدم فى دورته الكبرى، وهذا الضغط قيمته أكبر ما يمكن عند البطين الأيسر والأورطى ثم يقل فى الشرايين (arteries) والشرايين الأصغر (arterioles) ويقل كذلك فى الشعيرات الدموية المتصلة بالشرايين وتقل قيمته أكثر عند اتصال صغيرة الشعيرات الدموية بالأوردة ويظل كذلك فى الأوردة ليصل إلى البطين الأيمن الذى يضغط الدم بما يساوى 25 مم زئبق ليدفعه إلى الرئتين حيث يقل قبل دخولها نظراً لأن مقاومة الأوعية الدموية فيها قليلة ثم يمر بالرئة لأحداث التبادل الغازى بين O_2 & CO_2 بضغط دم لا يتعدى 25 مم زئبق ثم يصل إلى البطين الأيسر بضغط قليل وأقل من 8 مم زئبق، حيث ينقبض البطين الأيسر ويدفع الدم فى دورته الكبرى بضغط 120 مم زئبق وشكل (2-10) يوضع ضغط الدم فى المناطق المختلفة من الجسم والرئتين ومناطق القلب.



شكل (2-10)

ويحسب الشغل الذى يبذله القلب بحاصل ضرب الضغط فى التغير فى حجم الدم المدفع من القلب بالعلاقة :

$$w = p\Delta V$$

الباب العاشر- فيزياء الجهاز الدورى

حيث w الشغل، p قيمة الضغط، ΔV حجم الدم.

فإذا كان الضغط المتوسط للدم 100 مم زئبق، أى فى حدود 1.3×10^3 دايين سم²، وأن حجم الدم المندفِع فى كل نبضة هو 80 ميللى لتر (كل ثانية) (معدل النبضات 60 نبضة/دقيقة) فإن الشغل الذى يبذله القلب فى ثانية هو:

$$\begin{aligned}w &= p\Delta V \\&= 1.3 \times 10^5 \times 80 \\&= 1.04 \times 10^7 \text{ erg} \\&= 1.04 \text{Joule} \\&= 1.0 \text{watt}\end{aligned}$$

وهذه هى القيمة المتوسطة إلا أن قدرة القلب أعلى من ذلك وهى فى حدود عشرة وات، والقدرة اللازمة فى دورة الدم فى الرئتين خمس هذه القيمة.

ضغط الدم وقياسه Blood pressure and its measurement

يستخدم الأسفنجومانومتر فى قياس ضغط الدم (sphygo manometer) ويتكون من سوار الضغط (pressure cuff) ومقياس الضغط (pressure gauge) حيث يوضع على الجزء العلوى من الذراع، وسماعة توضع على الشريان العضدى عند الكوع، ويضغط هواء فى سوار الضغط يتمدد بسرعة ويصل لضغط كافٍ لوقف سريان الدم فى هذا الشريان، ثم يسمح للهواء المضغوط بالتخلّى تدريجياً (إفراغ الهواء) وعندما يقل الضغط فى سوار الضغط إلى قيمة أقل من القيمة التى تسمح بسماع النبض (systolic blood pressure) فإن الدم يسرى فى الشريان العائدى محدثاً صوت تذبذبات تسمع فى السماعة (stethoscope) ويسمى بصوت k (korotkoff or k.sound) وصوت البداية (onset) يعنى مستوى نبض ضغط الدم (systolic pressure level)، وكلما نقص الضغط فى السوار أكثر كلما ارتفع k

(k.sound) أكثر والنقطة التى ينعدم فيها صوت k أو يتغير تدل على ضغط الانبساط فى الشريان (pressure diastolic) وبذلك يتحدد الحد الأعلى للضغط والحد الأدنى له.

وضغط الدم فى الجسم يختلف من نقطة إلى أخرى كما رأينا فى شكل (10-2) وذلك بسبب قوة جذب الأرض، وقد قيس ضغط الدم لشخص واقف عند قدمه، وعند ذراع مرتفعة وعند رأسه باستخدام ثلاثة مانومترات ووجد أن مستوى إرتفاع الدم فيها كان حده الأعلى واحد، وأن الضغط الأعلى واقع على القدم وذلك بفعل الجاذبية الأرضية.

$$F = \rho gh$$

حيث h إرتفاع عمود الدم، g التسارع الجذبي للأرض، ρ كثافة الدم، ووجد أن ضغط الدم على الرأس أقل لكون الرأس يقع فى مستوى فوق القلب، وفى حال إستخدام مانومترات مملوءة بالزئبق فإن الارتفاع فى عمود الزئبق يساوى $\frac{1}{13.6}$ من إرتفاع عمود مملوء بالدم، وقد سبق أن عرفنا أن ضغط الدم تختلف قيمته من البطن الأيسر 120 مم زئبق إلى البطن الأيمن 25 مم زئبق وكذلك يوجد فرق فى ضغط الدم بين الشرايين والأوردة والشعيرات الدموية.

وهناك طريقة بسيطة لنرى إختلاف ضغط الدم من نقطة إلى أخرى وكذلك نرى تأثير الجاذبية عليه، فضغط الدم للأوردة على ظهر كف اليد يمكن التعرف عليه عندما تكون اليد مرسلة وفى مستوى أقل إرتفاعاً من مستوى القلب فإن الأوعية الدموية تكون بارزة وظاهرة فإذا ما رفعت اليد إلى أعلى من القلب تختفى الأوردة وكأنها أفرغت من الدم وكأن الضغط بداخلها أصبح صفراً.

ضغط الدم على جدران الأوعية الدموية

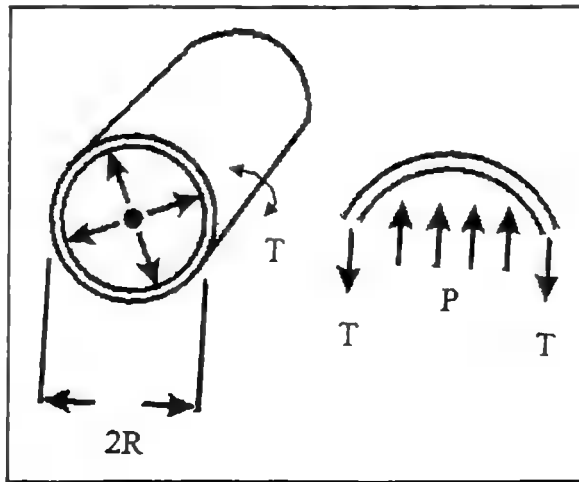
pressure across the blood vessel wall (transmural pressure)

كما رأينا فى الشكل (2-10) فإن أقل قيم لضغط الدم فى الجهاز الدورى وجدت فى الشرايين الصغيرة وضفيرة الشعيرات الدموية، والشعيرات الدموية جدرانها رقيقة جدا وفى حدود واحد ميكرومتر ($1 \times 10^{-6} \text{ m}$) وبذلك تسمح بانتشار الأكسجين وثانى أكسيد الكربون منها وإليها.

فإذا فرض أن لدينا شعيرة دموية نصف قطرها R والضغط داخلها يساوى P على جميع نقاط السطح الداخلى لجدار الشعيرة أى أن الضغط متساوى، فإذا فرض أن الشعيرة قسمت إلى نصفين شكل (3-10) فإن ضغط الدم من الداخل من أسفل إلى أعلا يساوى $2RP$ على وحدة الأطوال، وقوة الشد فى سطح الشعيرة الدموية اللازمة للصلق النصفين معا والتي تعمل إلى أسفل فى النصف العلوى $2T$ ونظرا لأن الشعيرة الدموية لم تنفجر ولم تنقبض فإنها فى حالة إتزان تحت القوتين أى أن :

$$2T = 2RP$$

$$T = RP$$



شكل (3-10)

وبذلك يكون الضغط على جدران الوعاء يعطى بالعلاقة :

$$P=T/R$$

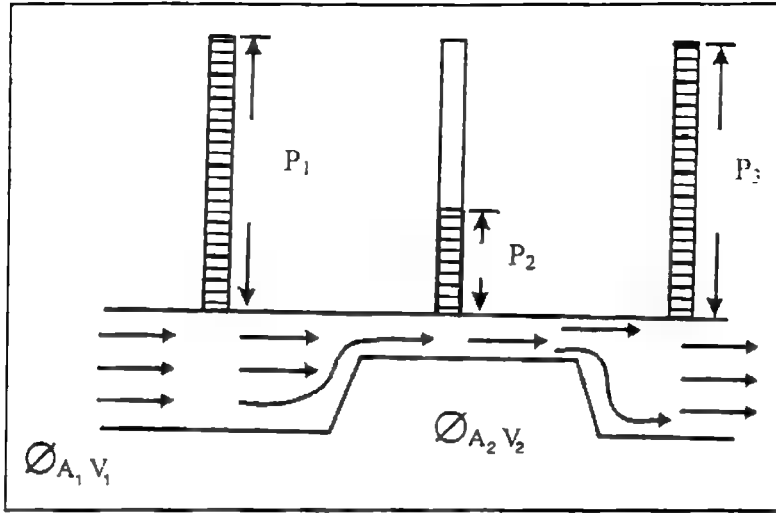
وقد وجد أن الشد على جدران الأورطى فى حدود 150.000 دايـن/سم والشد على جدران الشعيرات الدموية 25 دايـن/سم، وهذا الشد هو الذى يحول دون انفجار الشعيرات الدموية، وهو يزيد بزيادة نصف القطر ويقل بنقصان نصف القطر.

تطبيق قاعدة برنولى على الجهاز الدورى

Bernoulli's principle applied to the cardiovascular system

تعتمد قاعدة برنولى على تطبيق قانون بقاء الطاقة (conservation of energy) حيث أن ضغط الموائع صورة من صور طاقة للوضع ((potential energy (PE) وبها يؤدي الشغل.

والمائع المتحرك تكون له طاقة حركة ((KE kinetic energy))، وإذا تحرك المائع fluid (سائل أو غاز) فى أنبوبة ليس بها احتكاك فإن سرعة المائع تزداد فى الأجزاء من الأنبوبة ذات المقطع الضيق وتقل فى المناطق ذات المقطع الواسع، ونتيجة لذلك فإنه فى المناطق التى تزداد فيها السرعة تزداد تبعاً لها طاقة الحركة على حساب نقصان طاقة للوضع فى ذات الموقع أو المكان والذى يؤكد ذلك نقصان الضغط فى ذات الجزء من الأنبوبة، وعندما يتسع المقطع مرة أخرى وتقل السرعة تقل تبعاً لها طاقة الحركة وتزداد طاقة للوضع ويزداد الضغط والشكل (10-4) يوضح ذلك. ومعادلة الاستمرارية (continuity equation) تدل على أن كمية المائع المسارة فى الأنبوبة فى وحدة الزمن ثابتة بحيث يكون $A_1 v_1 = A_2 v_2$ حيث A_1 مساحة مقطع الأنبوبة الكبير، A_2 مساحة مقطع الأنبوبة الضيق، v_1 سرعة المائع البطيئة، v_2 سرعة المائع العالية، الأمر الذى يؤكد أن كمية المائع المتحركة فى وحدة الزمن ثابتة والذى يتغير هى السرعة ومساحة المقطع إلا أن حاصل ضربهما يظل ثابت.



شكل (4-10)

والأوعية الدموية أنابيب تتطبق عليها معادلة التتابع أو الاستمرارية بحيث تكون سرعة الدم عند خروجه من القلب فى الأورطى أكبر ما يمكن 30 سم/ ثانية ونظرا لأن الشريان يتفرع إلى شرايين كثيرة ثم إلى شرايين كثيرة أخرى أدق ثم إلى شعيرات دموية عددها فى حدود 190 شعيرة فى كل مم² فإن مساحة المقطع الكلية لمجموع ملايين الشعيرات الدموية تكون أكبر بكثير جدا من مساحة مقطع شريان الأورطى فى بداية الدورة الدموية الرئيسية الأمر الذى يقلل سرعة الدم إلى أن تصل إلى 2 سم/ ثانية فى ضفيرة الشعيرات الدموية الأمر الذى يعطى فسحة من الوقت ليتم تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى الأنسجة سواء الدورة الرئيسية وفى دورة الرئتين.

ويمكن حساب طاقة الحركة للدم عند خروجه من الأورطى إذا أخذنا فى الاعتبار حركة واحد جرام من الدم وفى هذه الحالة فإن طاقة الحركة (KE) :

$$K.E = \frac{1}{2}mv^2$$

حيث m كتلة الدم وهى واحد جرام، v سرعة الدم عند خروجه من الأورطى هى 30 سم/ ثانية.

$$\therefore K.E = \frac{1}{2} \times 1 \times (30)^2 = 450 \text{ergs}$$

بينما طاقة الحركة لنفس القدر من الدم فى الشعيرات الدموية:

$$K.E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times (2)^2 = 2 \text{ergs}$$

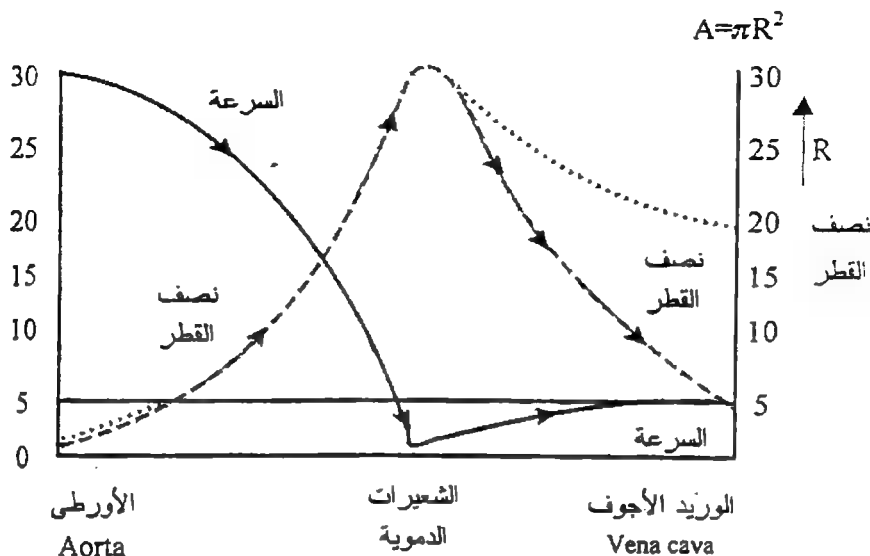
وهكذا تكون طاقة الحركة أكبر ما يمكن عند الخروج من القلب وأقل ما يمكن عند الشعيرات الدموية.

إلا أنه عند بذل مجهود فإن القلب يضخ الدم بسرعة تصل إلى خمس مرات القيمة المذكورة وتصل ضربات القلب إلى أقصى قيمة لها ويكون الضغط المكافئ لطاقة الحركة قيمة كبيرة (حوالى 75 مم زئبق).

ولإيضاح تغير السرعة ومساحة مقطع الأوعية الدموية نرسم شكل (10-5) لتتبع المتغيرين (A)، v من الأورطى (Aorta) حتى الوريد الأجوف (vena cave) من هذا الشكل نرى أن سرعة الدم عند خروجه من الأورطى تكون أسرع ما يمكن 30 سم/ثانية ويكون نصف قطر الأورطى فى حدود 1 سم (مساحة مقطعه 3 سم²)، ثم تقل سرعة الدم لتصل إلى 1.5 سم/ثانية فى الشعيرات الدموية حيث نصف القطر المكافئ لمجموع أنصاف أقطار الشعيرات الدموية 30 سم (أى مساحة المقطع المكافئ 600 سم²)، ثم تزداد مرة أخرى لتصل إلى 5 سم/ثانية عند دخول القلب من الوريد الأجوف حيث يكون نصف قطره 0.9 سم (مساحة مقطع 18 سم²) وفى جميع الحالات تظل كمية الدم المتحركة فى الأوعية الدموية ثابتة وتحكمها معادلة الاستمرار ($A_1 v_1 = A_2 v_2$) وتحسب سرعة الدم فى جزء من الدورة الدموية بقسمة معدل السريان على مساحة المقطع فى هذا الجزء أى أن معدل السريان :

$$\frac{dm}{dt} = \frac{A v \cdot t_p}{t} = A v_p$$

حيث ρ كثافة الدم.



شكل (5-10)

أى أن السرعة u تساوى :

$$u = \frac{dm}{dt} / A$$

بفرض أن ρ ثابتة فى جميع أجزاء الدورة الدموية ويؤثر على سريان الدم لزوجة (viscosity) (η) وهى تقاس فى نظام (cgs) بوحدة بواز (poise) وتقاس فى النظام العالمى للوحدات (SIU) بوحدة بسكال ثانية ($1 \text{ pas} = 10 \text{ poise}$) ومعامل لزوجة الدم ($3.5 \times 10^{-3} \text{ pas}$) وهو يعتمد على نسبة كرات الدم الحمراء فى الدم أو على الدموية (hematocrit) فكلما زادت الدموية زادت لزوجة الدم، والمرضى الذين يعانون من إحصار الدم (poly cythemia) أو زيادة غير سوية فى كرات الدم الحمراء عندهم دموية عالية. وغالبا ما يكون لديهم مشاكل فى الدورة الدموية. وتعتمد سرعة الدم أيضاً على درجة الحرارة حيث تزداد لزوجة الدم بإنخفاض درجة الحرارة ويقل الإمداد بالدم وتبرد الأطراف (الأيدي والأقدام)، وتبريد الدم من 37°C إلى صفر يزداد معامل اللزوجة بمقدار مرتين ونصف.

وبالجملة فإن العوامل المؤثرة على معدل سريان الدم فى الأوعية الدموية هى اللزوجة (η) وطول الوعاء الدموى (L) ونصف قطر الوعاء الدموى R وفرق الضغط بين طرفى الوعاء الدموى بين نقطتى 1، 2 أى P_1, P_2 ويمكن صياغة ذلك فى قانون بواسيل (poiseuiles law) الذى يربط هذه العوامل على النحو التالى :

$$\text{Flow rate (معدل السريان)} = \frac{dm}{dt} = \left(\frac{\pi}{8} \right) \left(\frac{R^4}{L\eta} \right) (P_1 - P_2)$$

ويمكن أن نأخذ فى الاعتبار أن مرونة الأوعية الدموية تؤثر على هذه النتائج حيث يتغير نصف القطر مع تغير الضغط كما أن معامل اللزوجة يتغير مع معدل السريان إلا أن هذا التغير يمكن إهماله ويظل قانون بواسيل سارى المفعول ويحقق النتائج.

ويجب أن نلاحظ أيضا أنه بالرغم من أن المساحة الإجمالية لمساحة مقاطع الشرايين الدقيقة (arterioles) أكبر بكثير جدا من مساحة مقطع الأورطى إلا أن نقصا كبيرا يحدث للضغط عندها وذلك نظرا لمقاومة السريان الكبيرة عند كل منها والتي تتناسب مع نصف القطر للأس الرابع (R^4)، ويكون النقص أشد عند ضفيرة الشعيرات الدموية (capillary bed) لنفس السبب.

سريان الدم المتوازن وغير المتوازن

blood flow- laminar and turbulent

السريان المتزن للدم فى الأوعية الدموية يكون لطبقة الدم الملاصقة للجدران وتكون ساكنة والطبقة التى تليها سرعتها بطيئة ثم تزداد السرعة من طبقة إلى أخرى حتى تكون أسرع طبقة هى الطبقة المحورية (مثال ذلك هوائى التلفزيون الداخلى) المغمد نفسه بنفسه فى أنابيب قصيرة والمحورى فيها الأصغر قطرا وهو يتقدمها، وهذا التوزيع فى سرعات طبقات الدم فى الوعاء الدموى له أثر على توزيع كرات الدم

الحمراء فى الدورة الدموية حيث يكون تركيزها عند محور الوعاء أكبر من جوانبه، وهذا يعطى أثرين :

1. عندما يدخل الدم وعاء دموى صغير تاركاً خلفه وعاء دموى رئيسى فإن نسبة كرات الدم الحمراء فى الوعاء الصغير تكون أقل منه فى الوعاء الرئيسى أى تكون الدموية قليلة (hematocrit) وذلك كآثر لعملية القشط (skimming).

2. نظراً لأن بلازما الدم على طول جدار الوعاء الدموى تتحرك ببطء شديد عن كرات الدم الحمراء فإن الدم فى الأضراف يحتوى نسبة كبيرة من كرات الدم الحمراء أكثر مما كان عليه عند مغادرة القلب، وبذلك تزداد نسبة الدموية (الاحمرار) فى اليد والقدمين.

والسريان المتزن للدم فى الأوعية الدموية لا يحدث صوتاً وتسمى بالحركة الخرساء فإذا ما زادت سرعة الدم فى وعائه بالتدرج فإننا نصل إلى سرعة حرجة عندها يتحول سريان الدم من سريان متزن (laminar) فى طبقات متتالية السرعة إلى سريان غير متزن (turbulent) ويحدث ذلك بتقليل نصف قطر الوعاء كما هو الحال عند قياس ضغط الدم حيث يقلل نصف قطر الوريد العضدى باستخدام سوار الضغط، ومن مميزات السريان الغير متزن إحداث صوت ناتج عن الذبذبات فى الحركة غير المتزنة وبذلك يقاس الضغط.

وتعين هذه السرعة الحرجة ((critical velocity (Vc باستخدام معادلة رينولد (Reynold) التالية:

$$V_c = \frac{K\eta}{\rho R}$$

حيث η معامل لزوجة الدم، ρ كثافة الدم، R نصف وعاء الدم، K ثابت يعرف بثابت رينولد (Reynold constant) وقيمته 1000 لسوائل كثيرة من بينهم الدم.

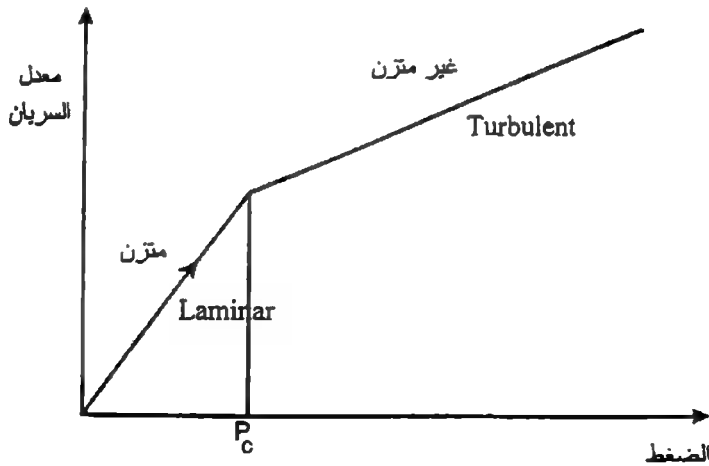
أما السرعة الحرجة لخروج الدم من الأورطى، (v_{ca}) فإنها تقاس بنفس المعادلة:

$$v_{ca} = \frac{K\eta}{\rho R} = (1000)(3.5 \times 10^{-3}) / 10^3 \times k^{-2} = 0.35 m/s$$

والسرعة فى الأورطى تقع فى المدى من صفر إلى 40 سم/ ثانية وبالتالي فإن السريان غير متزن، وتزداد هذه السرعة إلى أربع أو خمس مرات عند بذل مجهود ولمدة طويلة، ويكاد يسمع صوت القلب فى هذه الحالة بالأذن المجردة ويكون مختلف عن صوت القلب للشخص المستريح.

ويجب أن نلاحظ أن وجود موانع مثل انثناء أو ترسبات فى داخل الوعاء الدموى يقلل ثابت رينولد ومن ثم تتأثر السرعة الحرجة وتتغير قيم الضغط المقاسة.

وبرسم العلاقة بين الضغط ومعدل السريان نرى أن السريان المتزن يكون مؤثر أكثر من السريان الغير متزن كما فى شكل (5-10) حيث يكون ميل المنحنى فى منطقة السريان المتزن أكبر منه فى منطقة السريان الغير متزن أى التدفق فى الحالة الأولى أكبر من الحالة الثانية.

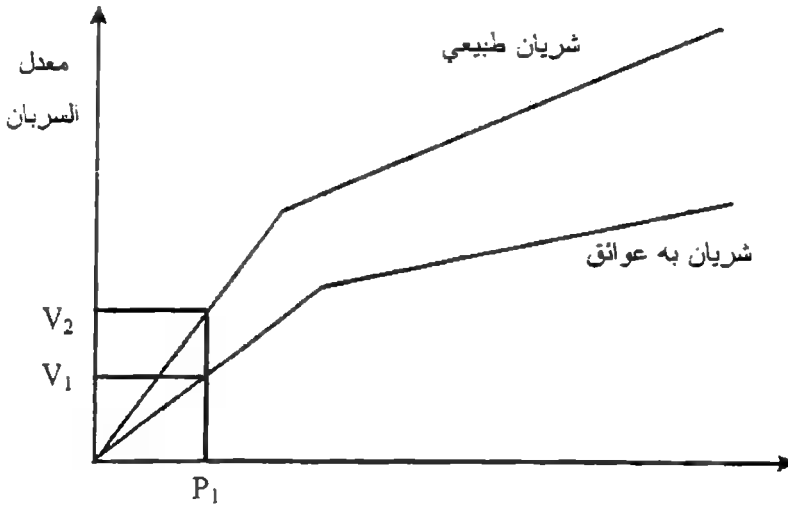


شكل (5-10)

الباب العاشر- فيزياء الجهاز الدورى

وبرسم هذه العلاقة مرة أخرى لشريان دموى به عوائق (ترسيبات أو إنتشاءات) فإننا نحصل على نفس الشكل وقيم معدل السريان تكون أقل الأمر الذى يلزم زيادة فى الضغط للحصول على نفس معدل السريان ومن ثم يبذل القلب شغل أكبر شكل (6-10).

ومن الشكل يكون معدل السريان الطبيعى هو V_2 بينما معدل السريان للشريان المريض V_1 ولما كانت $V_1 < V_2$ فإن الشغل الناتج بنفس الضغط يكون كبير فى حالة الشريان الطبيعى $w' = p_1 v_2$ وأكبر من $w = p_1 v_1$ فى حالة الشريان المريض وإذا أريد الوصول إلى نفس كمية معدل السريان فلا بد من بذل شغل إضافى قدره $\Delta w = w' - w = p_1 (v_2 - v_1) = p_1 \Delta v$ وذلك لكون السريان سوف يكون غير متزن لوجود العوائق.



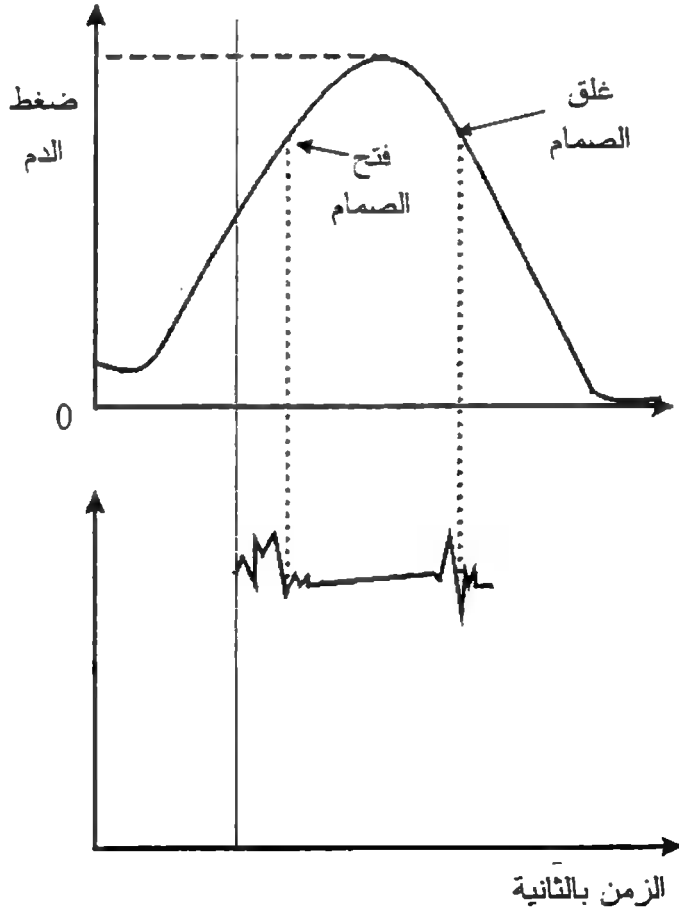
شكل (7-10)

صوت القلب heart sound

يستطيع طبيب القلب المدرب ذى الأذن الحساسة أن يحصل على معلومات وفيرة تشخيص الحالة مما يسمعه من صوت القلب، والصوت هذا الذى يسمعه الطبيب

بإستخدام السماعة (stethoscope) يحدث بسبب ذبذبات تنشأ فى القلب والأوعية الدموية الرئيسية، كما تساهم فى هذا الصوت حركات فتح وغلق صمامات القلب، والسريان الغير مترن للدم فى هذه الحالة والذبذبات الحادثة تعطى صوتاً فى المدى المسموع (audible ranges).

وشكل (8-10) يوضح العلاقة بين ضغط الدم والزمن والصوت المسموع والزمن بالنسبة لقلب طبيعى، وهذه الأصوات تسمع همسا (murmur) عندما يكون القلب غير طبيعى، ويحدث ذلك بسبب أية عوائق تجعل السريان غير مترن.



شكل (8-10)

فيزياء بعض أمراض الجهاز الدورى

The physics of some cardiovascular diseases

الشغل المبذول بواسطة القلب هو بشكل تقريبي قوة شدة عضلة القلب وإلى أى مدى تظل تعمل، وأى شئ يزيد من قوة شد عضلة القلب أو يزيد وقت عملها يزيد من عبئ القلب (work load)، ومثال ذلك زيادة ضغط الدم (hypertension) يزيد من قوة شد عضلة القلب بشكل طردى، أى أنه عند خفقان القلب (tachycardia) يزداد عبئ العمل حيث يزداد زمن إنقباض القلب وإنبساطه.

وأشد أمراض القلب هي الذبحة القلبية (hear attack) وهي تحدث عند سد (blockage) شريان أو أكثر من الشرايين المغذية لعضلة القلب.

حيث يموت الجزء من عضلة القلب الذى لا يصل إليه الدم بالسده (infarct) وهذا الانسداد لا يؤثر لحظياً على الإشارة الكهربائية المنظمة لنبضات القلب وعلى ذلك يكون رسم القلب للشخص الذى يعانى من ذبحة قلبية حديثة عادى جداً، وخلال الذبحة القلبية وبعدما تكون قدرة عضلة القلب على ضخ الدم إلى الجسم قلت أو ضعفت، ولتقليل عبئ الشغل على القلب فإن التزام الراحة وإمداده بالأكسجين يكون مفيد، حيث أن إعطائه الأكسجين O_2 يزيد من كمية الأكسجين فى الدم وبذلك يقل ضخ الدم إلى الأنسجة وهذا يكون مفيد لعضلة القلب نفسها، وغالباً ما يكون هناك مسارات بديلة للدم ليصل إلى عضلة القلب حيث يتم التحامها بالعضلة وتوصل إليها الأكسجين بدلاً من الشرايين التى سدت، ومن أهم أهداف العلاج الطبيعى (المشى، التدليك) هو المحافظة على هذه المسارات مفتوحة.

وتضخم عضلة القلب مرض (congestive heart failure) وسببه هو زيادة أو كبر القلب ونقصان قابليته لتوفير الدم بشكل ملائم، وبذلك تقل كفاءة القلب عن الحالة الطبيعية وتجعله يحتاج إلى كمية أكبر من الأكسجين ليؤدى نفس القدرة من الشغل، والعلاج المناسب لهذه الحالة هو تقليل عبئ الشغل على القلب.

وقد استخدم جهاز منظم نبضات القلب فى حالة بعض المرضى المحتاجين إليه حيث تم تزويدهم بمنظم ضربات القلب الصناعى (pace maker)، وقد استخدمت الصمامات الصناعية بدلا من الصمامات التالفة فى القلب سواء فى حالة عدم الإغلاق التام (not close well or insufficiency) أو عدم الفتح التام ((open wide (stenosis)). وفى حالة عدم الفتح التام فإن كمية شغل القلب تزداد لتغطى ما حدث من جراء ضيق الفتحة وسريان الدم فى الدورة الدموية الرئيسية يقل وفى حالة عدم الإغلاق التام فإن بعض الدم يعود إلى القلب وبالتالي يقل حجم الدم فى الدورة الدموية، وكلا الحالتين ممكن معالجتها باستخدام صمامات صناعية، والتي سبق معالجتها بالإشعاع لضمان نقائها وعدم تلوثها.

ومن أمراض الأوعية الدموية ترهلها (aneurysm) الناتج عن ضعف جدرانها وبذلك يزداد قطرها وتزداد تبعا لذلك قوة الشد فى جدرانها وقد يؤدي ذلك إلى فتقها (rupture) الذى يكون قاتل وخصوصا إذا كان الفتق فى المخ من النوع المؤدى إلى نزيف بالمخ ((cerebrovascular accident (CVA)).

والترسيبات على جدران الأوعية الدموية مشكلة أخرى (sclero- tic plaques) حيث تسبب سريان غير متزن للدم (turbulent flow) وتسمع لها أصوات هامسة (murmur)، وبذلك يسبب الضيق فى زيادة سرعة الدم كما يسبب نقص ضغط الجدران (أثريرنولى) وهذه الترسبات (جلطات) من الممكن أن تترك مكانها وتتحرك مع الدم وتصل إلى شريان أضيق وتسده وتمنع مرور الدم (shutoff) إلى الجزء المتأثر فإذا كانت فى المخ تحدث انفجار (stroke) وهذا نوع آخر من السكتات الدماغية (cerebrovascular accident).

وهناك مرض ليس فى خطورة الترهل أو الترسبات ولكنه يحدث حرج وإرتباك وهو دوالى الرجل والساق (varicose) وهذه تعتبر من قضايا التجميل (cosmetic problem) وسببه هو فشل صمامات الاتجاه الواحد فى الأوردة المؤدية بالدم إلى القلب من الرجل فإذا فرض أن الدم يسرى فى رجل وقدم شخص واقف حيث

◆ الباب العاشر- فيزياء الجهاز الدورى ◆

الضغط فى أوردة القدم 90 مم زئبق بسبب عمود الدم الواقع عليها ففى خلال المشى أو بذل أى مجهود بالرجل فإن قوة انقباض العضلات تجبر دم الوريد على التحرك فى إتجاه القلب وهذا ما يسمى بضخ العضلة (muscle pump) أو ضخ الأوردة (venous pump) وعلى طول الأوردة وعند نقاط مختلفة توجد صمامات تسمح للدم بالحركة فى إتجاه واحد وبفعل ضخ العضلات (20 مم زئبق) أثناء المشى أو التدرجات تصبح هذه الصمامات ضعيفة ولا تستطيع أن تؤدى دورها فى التحكم فى حركة الدم الأمر الذى يسمح للدم بالحركة فى الاتجاه المضاد إلى أسفل ويكون بحيرات فى الأوردة وتظهر دوالى الرجل، وقد يحدث هذا من جراء الربط المحكم للأحزمة، كما يحدث هذا من جراء الوزن الزائد أثناء حمل السيدات، وعلاج الدوالى يكون بالجراحة، علماً بأن الأوردة البديلة تقوم بإعادة الدم إلى القلب.

خاتمة

والكلية هذا الجهاز الصغير ولكنه المعقد فهو يعد المصفاء المنقية للدم والمحافظة على تحسینه وتجميله، وكل دقيقة يدخل الكلية في حدود لتر دم ويخرج منها نقي فضلا عن إحتياجاتها هي من الدم للتغذية، وتستطيع الكلية أن تؤدي دورها في تنقية الدم حتى ولو تم تنقية ربع لتر كل دقيقة، وهذا الدور هام لتخليص الدم من العوالق الضارة فإذا حدث قصور أو فشل لدور الكلية فإن وحدات الكلية الصناعية (dialysis units) تقوم بالدور نفسه.

ولا تنسى دور الدم في توزيع كمية الحرارة في الجسم سواء داخله أو على أطرافه كما سبق ذكره.

الباب الحادى عشر

فيزياء التنفس

The physics of breathing

الباب العاشر

فيزياء التنفس

The physics of breathing

مقدمة:

الجسم البشرى آلة ومصدر الطاقة لها هو الطعام الذى يمر بمراحل الهضم المختلفة فى الجهاز الهضمى (digestive system) ثم يتحد مع الأكسجين فى خلايا الجسم المختلفة لينتج الطاقة، ومخرجات الجسم تمر خلال أربعة طرق مختلفة:

1. المركبات غير المهضومة تعزل وتخرج عن طريق الشرح بشكل صلب أو غازى.
2. الماء الزائد والأملاح الزائدة الذائبة والسوائل الأخرى تخرج فى شكل بول، أو عرق.
3. إما غاز ثانى أكسيد الكربون فهو يخرج عن طريق الرئة.
4. كما تخرج الحرارة بكميات متفاوتة من سطح الجلد.

وإذا كان الجسم البشرى آلة فإن هذه الآلة محصلة ملايين الآلات الصغيره هى الخلايا الحية للجسم، وكل واحدة من هذه الآلات الطبيعية، تزود بالوقود، والأكسجين، وطرق إخراج المنتجات، والدم والجهاز الدورى cardiovascular system يساعد هذه الآلات فى صورة جهاز نقل transport system. والرتنين أو الجهاز الرئوى pulmonary system يقوم بعمليات الإمداد بالأكسجين ويخرج ثانى أكسيد الكربون، حيث يوصل الدم الأكسجين إلى جميع الأنسجة والعظام ويزيل منها ثانى أكسيد

الكربون في عودته، حيث يقترب بشدة مع الهواء داخل الرئتين ويستبدل حمله من ثانى أكسيد الكربون بحمل آخر من الأكسجين.

ونظراً لأن العلاقة وثيقة الصلة بين الجهاز الدورى والجهاز الرئوى فإن أى عمل فى أى منهما يؤثر على الآخر وعلى سبيل المثال فإن خلال عملية التنفس يؤثر الضغط فى الأوردة الرئيسية فى الصدر على الدم العائد إلى القلب، وغالباً ما تعطى أمراض الرئتين أعراض فى القلب والعكس صحيح، وبالإضافة إلى عملية تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فإن الرئتين تحافظ على حمضية الدم ثابتة (PH).

كما أن للرئتين دور آخر فى الأتزان الحرارى (heat exchange) وإتزان السوائل (fluid balance) فى الجسم وذلك بتسخين وترطيب هواء الشهيق (inspire)، وعملية التنفس مسئولة عن التحكم فى معدل سريان الهواء اللازم للكلام، والكحة، العطس، الأستنشاق، والضحك، والتثائب sighing، sneezing، coughing، وبذلك فإن كتم الهواء المار يساعد على القيء vomiting والتغوط defecating.

ويحتوى الهواء المستنشق على 80% نيتروجين (N_2)، 20% أكسجين (O_2) وهواء الزفير يحتوى 80% من (N_2)، 16% من (O_2)، 40% ثانى أكسيد الكربون (CO_2)، وبالجمله يستهلك الجسم البشرى حوالى 10 كيلو جرام من الهواء يومياً، وبذلك فإن الرئتين تمتص 400 لتر من الأكسجين يومياً وتخرج كمية صغيرة من ثانى أكسيد الكربون، كما ترطب الرئة الهواء المستنشق بالماء.

ولكن الهواء المستنشق يحتوى أتربة (dust)، دخان (smoke)، والبكتريا السابحة فى الهواء (air-borne bacteria) وغازات أخرى كثيرة، والمساحة السطحية لسطح مكونات الرئة الداخلية والمبلدة (ملفوفة مع بعضها البعض) تكون فى حدود 90 متر مربع وهى أكبر مساحة معرضة للعوامل البيئية فى الجسم. ومن ذلك يتضح مدى أهمية الهواء النقى.

مسارات الهواء The airways

المدخل الطبيعى للهواء إلى الجسم هو الأنف حيث ينقى (filtered)، ويدفئ (warmed) ويرطب (moisturized)، والسطح المندى أو الرطب والشعيرات الموجودة فى الأنف هى مصائد عوالق الهواء الداخل. وفى حالة التنفس من الفم تحت أى ظرف فإن درجة نقاء الهواء تكون أقل. ثم يمر الهواء بعد ذلك إلى القصبة الهوائية (windpipe or trachea) وتفرعاتها المتتالية والتى هى فى حدود 15 مرة، ثم يصل الهواء داخل الرئتين إلى ملايين الحويصلات الهوائية (alveoli)، وهى تشبه فقاعات الهواء المترابطة بقطر فى حدود 0.2 مم وسمك 0.4 ميكرومتر، وهى تتمدد وتنكمش أثناء عملية التنفس حيث يتم تبادل الأكسجين وثنائى أكسيد الكربون، وكل حويصلة محاطة بالدم حيث يدخل الأكسجين كرات الدم الحمراء بالانتشار كما ينتشر ثنائى أكسيد الكربون من الدم إلى الحويصلات، وتحتوى الرئة الواحدة عند الولادة على 15 مليون حويصلة هوائية وعندما يصل العمر إلى ثمان سنوات يصبح هذا العدد فى حدود 150 مليون حويصلة هوائية، ثم يظل العدد ثابت تقريبا إلا أن قطر الحويصلة يزداد.

ومسارات الهواء بالإضافة إلى عملها الذى ذكر فى أيضا تزيل العوالق التى ترسبت عليهما فى عملية تنقية الهواء بطريقتين:

1. العوالق الكبيرة (large chunks) تزال بالحكة.

2. العوالق الصغيرة تحمل إلى الأعلى فى اتجاه الفم بواسطة ملايين

الشعيرات الصغيرة والنتوءات (hairs or cilia).

ورغم أن إرتفاع النتوءات لا يتعدى 0.1 مم إلا أن لها حركة موجية تمكنها من حمل المخاط (mucus) المحمل بالأتربة ودقائق العوالق إلى مسارات الهواء الرئيسية، والحركة البندولية لهذه النتوءات يصل ترددها إلى 1000 نبضة/ دقيقة، حيث يتحرك المخاط بسرعة 1.5 سم/ دقيقة، وكان هذه النتوءات (الأهداب) سلاسل آلية فى القصبة

الهوائية، والزمن اللازم لنقل عوالم من القصبيات الهوائية إلى القصبة الهوائية ثم إلى الزور فى حدود 30 دقيقة حيث تطرد (Expelled) إلى الخارج أو تبتلع (swallowed).

التعاون بين الدم والرئتين The blood and lungs co- operation

الهدف الأسمى للتنفس هو إمداد الدم بالأكسجين الطازج وإخلاءه من ثانى أكسيد الكربون فى الرئتين، والدم يضخ من القلب إلى الرئتين بضغط منخفض نسبياً حيث يكون ضغط الدم فى الشرايين الموصلة للرئتين فى حدود 20 مم زئبق.

والرئتين تقاومان الدم بشكل ضعيف (مقاومة قليلة)، وفى المتوسط يكون خمس دم الجسم فى الرئتين و80 مللى لتر منه يكون موجود فى الشعيرات الدموية فى الرئتين للحصول على الأكسجين فى أية لحظة، ونظراً لأن زمن تواجد الدم فى الرئتين يكون أقل من ثانية واحدة فإن كفاءة عملية تبادل الغازات فى الرئتين عالية جداً ويتضح ذلك فى دقة سمك جدار الحويصلات الهوائية (0.4 ميكرومتر) والدم يحيط بها فى الشعيرات الدموية الدقيقة. وحيث مساحة التلاصق بين الهواء والدم فى الرئة فى حدود نصف أرض ملعب التنس (80 متر²) فإن نشر 80 مللى لتر على هذه المساحة يغطى طبقة دم سمكها 1 ميكرومتر أى أقل من سمك كرة دم حمراء واحدة. وذلك يسهل أداء العمليتين الآتيتين:

1. إيصال الدم إلى الشعيرات الدموية الرئوية (perfusion) وكأنها فرشت دم.
2. إيصال الهواء إلى سطح الحويصلات الهوائية للتبادل (ventilation) الغازى (التهوية) وتخلف أى عملية منهم بجعل الدم غير مؤكسد بشكل تام.

وهناك ثلاثة أنواع من مساحات التديم والتهوية (perfusion- ventilation) فى الرئة:

1. مساحات تتميز بتهوية والتديم بشكل حسن.

2. مساحات تتميز بتهوية حسنة وتدميم ضعيف.

3. مساحات تتميز بتهوية ضعيفة وتدميم حسن.

فى حالة الرئة الصحيحة والطبيعية %85 من حجم الرئة يعمل بالطريقة الأولى. أما إذا تجلط الدم فى جزء من الرئة أثناء السريان (pulmonary embolism) فإن هذا الجزء يكون ضعيف الإغراق بالدم (التدميم) وكذلك إذا سد طريق الهواء فى أى جزء من الرئتين فإن هذا الجزء يكون ممثل لجزء مساحته ضعيفة التهوية وكثيراً من الأمراض تؤدى إلى ضعف التدميم أو ضعف التهوية.

وانتقال الأكسجين وثنائى أكسيد الكربون من وإلى الدم تحكمه قوانين الانتشار. نظراً لأن حركة الجزيئات دائمة فإن المناطق ذات التركيز الأكبر تنتشر منها الجزيئات إلى المناطق ذات التركيز الأقل حتى تتساوى التركيزات وذلك بفعل الانتشار وفى حالة تبادل الأكسجين وثنائى أكسيد الكربون فإن ذلك هو إنتشار غازات فى سوائل والغازات تنتشر بسرعة الصوت فى السوائل، وكل جزئ يصطدم 10^{10} مرة كل ثانية مع جيرانه من الجزيئات بشكل عشوائى.

وأكبر مسافة يقطعها الجزئ بعد عدد من التصادمات (N) هى عمق الانتشار (D) أى أن:

$$D = \lambda \sqrt{N}$$

حيث λ هى المسار الحر المتوسط (average mean free path) أو هى المسافة المتوسطة بين كل تصادمين وهى فى الهواء 10^{-6} متر ولكن فى الأنسجة 10^{-10} متر.

والانتشار يعتمد على سرعة الجزيئات التى تكون أسرع إذا كانت الجزيئات خفيفة وعند ارتفاع درجات الحرارة، ونظراً لأن عدد التصادمات (N) يزداد بزيادة زمن الانتشار (Δt) أى $(N \propto \Delta t)$ فإن:

$$D = \lambda \sqrt{\Delta t}$$

$$D \propto \sqrt{\Delta t}$$

$$\therefore D^2 \propto \Delta t$$

والانتشار داخل الرئتين (أى داخل الحويصلات الهوائية) يكون سريع وتكون D فى حدود أجزاء من الملى متر ويتم الانتشار فى أجزاء من الثانية، ولكن إنتشار كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون داخل الأنسجة يكون أبطى وذلك بمقارنة عمق الانتشار فى الهواء ($D = 10^{-2}$ mater) وفى الأنسجة ($D = 10^{-5}$ mater). ولكن يسهل عملية الانتشار فيها أن سمك الحويصلات الهوائية فى حدود 0.4 ميكرومتر ومن ثم يتم الانتشار فى أقل من ثانية وبذلك يبدل الدم حملة من ثانى أكسيد الكربون ويأخذ الأكسجين اللازم لعملية الاحتراق ولتحرير الطاقة اللازمة لإدارة شئون الجسم وما يبذله من عمل.

ولنفهم ما حدث بين الأكسجين فى الحويصلات الهوائية ووعاء من الأنابيب الشعرية حاملة الدم على سطح الحويصلة فإن عدد من جزيئات الأكسجين (O_2) تصطدم بالدم وتذوب فيه وبعد فترة من عملية دخول O_2 إلى الدم فى الشعيرات الدموية على سطح الحويصلة يحدث إتران بين عدد جزيئات O_2 الداخلة الى الشعيرات الدموية من الحويصلات وعدد O_2 الخارجة من الأوعية الدموية الى الحويصلات، وبذلك يكون الضغط الجزئى للأكسجين (pO_2) داخل الأوعية الدموية على سطح الحويصلات مساوى لضغط pO_2 داخل الحويصلات (قانون دالتون للضغط). وبظل الأمر كذلك بحيث إذا حدث أى تغير على أحد الجانبين حدث مثله فى الجانب الآخر.

ونظراً لأن ذوبانية O_2 تختلف عن ذوبانية CO_2 فى الأنسجة فإن O_2 ينتشر فى جدار الحويصلات الهوائية أسرع من CO_2 وخصوصاً أن كتلة O_2 أصغر من كتلة CO_2 ، ولكن المحصلة النهائية أن إنتقال CO_2 فى الأنسجة أكثر فعالية نظراً لكثرة جزيئاته فى حالة السيولة عن O_2 ، بالإضافة إلى ذلك فإن العوامل المرضية قد تزيد

◆ الباب (الحاوي عشر- فيزياء التنفس) ◆

من سمك جدار الحويصلات الهوائية الأمر الذي يجعل إنتقال الأكسجين أبطئ من إنتقال جزئيات CO_2 .

وكذلك فإن مخلوط الغازين في الحويصلات ليس هو نفسه كما هو الحال في الهواء العادي، والسبب في ذلك أن الرئتين لا تخلون تماماً من شحنتها عند كل زفير (نهاية عملية تنفس واحدة) ولكن يتبقى بهما ما يساوي 30% من حجمهما بعد كل زفير. وهذا ما يسمى أثر المتبقى من الشحنة (FRC) functional residual capacity. ونظراً لأنه في الشهيق الواحد يختلط 500 سم³ من الهواء الحديث مع المتبقى بعد الزفير السابق وقدره 2000 سم³ في الرئتين مما يؤدي إلى وجود أكسجين في الحويصلات الهوائية وضغطه الجزئي في حدود 100 مم زئبق، في حين أن الضغط الجزئي في الحويصلات الهوائية في حدود 40 مم زئبق.

وبذلك تتحقق النتائج نفسها، أما في حالة الزفير فإن الضغط الجزئي للأكسجين (PO_2) يكون كبير بينما الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون يكون قليل ($p(CO_2)$).

والنسبة بين ثاني أكسيد الكربون الخارج إلى الأكسجين الداخل هي نسبة التبادل

في التنفس $\left(\frac{CO_2 \text{ out}}{O_2 \text{ in}} \right)$ Respiratory quotient (R) or Respiratory

Exchange ratio وعادة يكون R أقل من الواحد ($R < 1$).

وكان الخلاصة أنه خلال عملية التنفس الطبيعية فإن الأكسجين الحديث (O_2) ينتشر بسرعة خلال الهواء القديم المتبقى بعد الزفير السابق ويصل إلى سطح الحويصلات الهوائية ثم يذوب في الجدار الرطب للحويصلات الهوائية وينتشر إلى داخل الأنابيب الشعرية الحاملة للدم حتى يتساوى ضغط الأكسجين الجزئي ($p(O_2)$) داخل الوعاء الدموي من جانب وداخل الحويصلة الهوائية من جانب آخر وذلك يتم في أقل من 0.5 ثانية، وكذلك فإن CO_2 الموجود في الدم ينتشر بشكل أسرع إلى داخل الحويصلات الهوائية.

والأكسجين السائل فى الدم قليل ويتحد مع الهيموجلوبين كيميائياً (Hemoglobin (Hb)) فى كرات الدم الحمراء وبذلك يكون الأكسجين فى الدم كثير حيث يحمل لتر الدم ما قيمته 200 سم³ من O₂ عند معدل الضغط ودرجة الحرارة العاديين (NTP) بهذه الطريقة فى الوقت الذى يحمل فيه لتر الدم 2.5 سم³ من O₂ السائل فقط ونظراً لأن الأكسجين ليس سائل فإن قوانين الانتشار لا تستقيم، لذلك فإن الهيموجلوبين المشبع بالأكسجين بنسبة تصل إلى 97% وبضغط جزئى 100 مم زئبق عند مغادرته الرئتين فإن هذا الضغط يقل بنسبة 50% قبل إفراغ الدم حمله من الأكسجين وذلك لكون الضغط الجزئى للأكسجين فى الخلايا المستقبلية للأكسجين قليل، عند ذلك يتحلل الأكسجين من الهيموجلوبين وينتشر فى خلايا الجسم المختلفة، كما يجب أن نلاحظ أن عملية تحلل الأكسجين من Hb لا تتم لحظياً ولكن تدريجياً فى ضوء p(CO₂) فى الأنسجة.

وفى حالة السكون يعود الدم إلى القلب وهو محمل بالأكسجين بنسبة 75% من حمله الأصى أى أنه فى حالة عدم إحتياج الجسم (الخلايا) إلى الأكسجين يحتفظ الدم بالأكسجين الزائد، ولكن الموقف يتغير تماماً (changes drastically) فى حالة بذل جهد حيث يقل ضغط الأكسجين الجزئى (pO₂) فى العضلة المتحركة ويحتاج بذلك إلى أكسجين زيادة والذى يتحلل من الهيموجلوبين (Hb) وينتشر فى العضلة المعنية.

وقد وجد أن العضلة المتحركة تحتاج عشرة أمثال ما تحتاجه من الأكسجين فى حالة السكون. وبذلك يمكن القول أن العامل المحدد فى حالة الشخص العادى فى حالة الشغل ليس كمية الدم التى تضخ من القلب فى الدقيقة (cardiac output) ولا كمية الأكسجين التى تصل الدم من الرئتين ولكن العامل المحدد هو السرعة التى تنتقل بها كمية الأكسجين O₂ إلى العضلة العاملة (working muscles).

وكذلك يعتمد تحلل الأكسجين من Hb على الضغط الجزئى لثنائى أكسيد الكربون (pCO₂)، ودرجة الحمضية (pH acidity) ودرجة الحرارة، وكل هذه العوامل تزداد فى حالة العضلة العاملة (غير الساكنة) وتعطى فرصة للهيموجلوبين Hb للتخلى عن

مزيد من الأكسجين الذى ينتقل إلى العضلات العاملة (working muscles). ولكن فى الرئتين يودى نقصان الضغط الجزئى لثانى أكسيد الكربون (pCO_2) إلى إتحاد الهيموجلوبين بمزيد من الأكسجين.

وثانى أكسيد الكربون يظل فى الدم بعد مغادرته الرئتين ويظل مستواه ثابت فى الدم بالمعدل الطبيعى للتنفس ($P_{CO_2}=40 \text{ m Hg}$) أما التنفس السريع فى ضوء بذل مجهود يزيد من عملية التهوية (Hyperventilation) وبذلك يقل ضغط ثانى أكسيد الكربون الجزئى (P_{CO_2}) فى الدم (hypocapnia) وذلك يسبب إضطراب فى الفكر أو بحجمه، (mental disturbance and fainting).

أما فى حالة أول أكسيد الكربون CO (وهو سام) فإن جزيئاته تلتصق بالهيموجلوبين (Hb) فى الأماكن المخصصة للأكسجين وبقوة التصاق أكبر من التصاق الأكسجين (تصل 250 ضعف) ولا تتحلل ببساطة إلى الأنسجة، وبالإضافة إلى إحتلاله أماكن مخصصة للأكسجين فإنه يقلل تحلل الأكسجين من Hb وذلك يحدث مهما كانت كمية CO قليلة. ومدخنى السجائر يستنشقون فى حدود 250 سم³ من CO فى كل سيجارة، وبذلك يسبب أول أكسيد الكربون الوفاة بسبب ما يحدثه من جوع الخلايا للأكسجين.

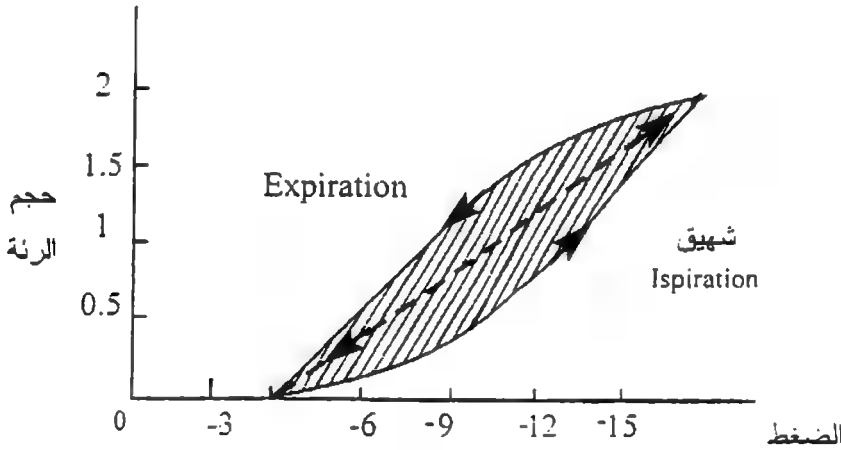
علاقة ضغط وحجم سريان الهواء فى الرئتين

Pressure-airflow volume in lung

الفرق فى الضغط اللازم لسريان الهواء فى الدخول والخروج من الرئة قليل وخصوصا فى حالة شخص فى حالة صحية حسنة.

ونظراً لأن المرى يمر فى الصدر فإنه يوضح متوسط الضغط بين الصدر والرئتين ويقاس الضغط فى المرى بمقاييس الضغط المعروفة (pressure gauge) وتكون قيمته سالبة (10 mm Hg - ~) بسبب مرونة الرئتين، وشكل (1-11) يوضح

العلاقة بين الضغط المقاس فى المرئ (Intrathoratic) وحجم الرئة خلال عملية التنفس، ومن هذا الشكل نلاحظ أن الضغط السالب يزداد خلال الشهيق حتى يصل إلى حده الأقصى وبالتالي يزداد معه حجم الرئة إلى الحد الأقصى عند نهاية عملية الشهيق ثم يبدأ الضغط فى التناقص (أى تزداد إيجابيه)، وبالتالي ينقص حجم الرئتين حتى نهاية عملية الزفير. ونلاحظ أن منحنى الشهيق لا ينطبق على منحنى الزفير أى أن الدورة تنقسم إلى جزئين فى حالة الشهيق يزداد الضغط السالب ويزداد حجم الرئتين إلى حده الأقصى ثم يأخذ الضغط فى إنقاص سالبته بعد أن تصبح الرئة فى تمام إنبساطها فتبدأ فى الانقباض ويقل حجم الرئتين بنقصان سالبية الضغط إلى أن تصل إلى حدها الأدنى، ويكون منحنى الشهيق ومنحنى الزفير خية تخلف الهواء (hysteresis loop) وتتناسب مساحة الخية طردياً مع المفقود من كمية الحرارة فى دورة التنفس الواحدة، وهذه المساحة تزداد بزيادة معدل التنفس.

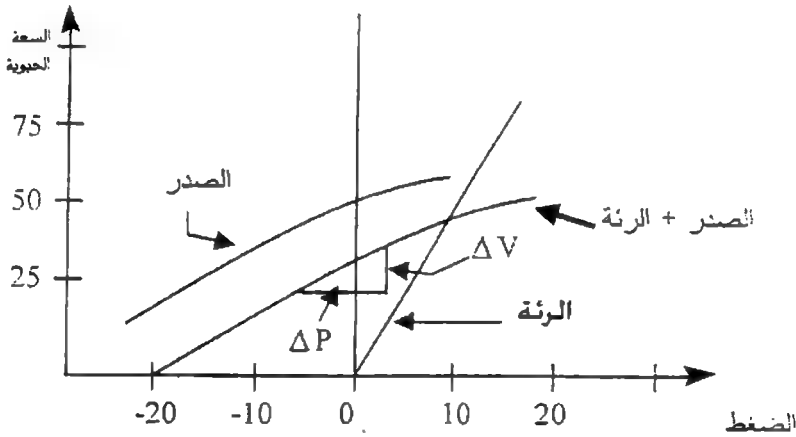


شكل (1-11)

والصدر والرئتان يتحدان فى عملية الانبساط والانقباض خلال عملية التنفس وعلاقة الضغط والسعة الحيوية موضح فى شكل (2-11)، يوضح هذا الشكل الضغط والسعة الحيوية لكل من الصدر، والرئتان كل على حده ثم يعطى نفس العلاقة لهما معاً. فإذا أخذ الصدر منفرداً فإن حجمه يساوى ثلثي السعة الحيوية الكلية. وإذا أخذت

◆ (الباب الحادى عشر- فيزياء التنفس) ◆

الرئتين منفصلتين فإن كل منهما ستكون منقبضة ولا يكون لها حجم وإذا تم إتحادهما فإن الحجم الكلى سوف يمثل 30% من السعة الحيوية، ويقاس الضغط من الفم بعد غلقه وغلق الأنف وتكون عضلات التنفس فى حالة هدوء، ويساعد على هذا الخواص المرنة للرئتين.



شكل (2-11)

وطواعية (compliance) الرئتين خاصية هامة وتعرف على أنها التغير الحادث فى حجم الرئتين مقابل التغير فى الضغط داخلهما أى ($\Delta V / \Delta P$) ووحدة قياسها هى لتر/سم، مياه، وقيمتها للفرد البالغ الصحيح فى المدى ($0.17 - 0.27 \text{ litre/cmH}_2\text{O}$) وتزداد بنسبة 25% للرجال فوق الستين، والرئتين المتليفيتين (fibrotic) يكون تغير الحجم فيها قليل بالنسبة لتغير الضغط (قليلة المرونة) وبالتالي تكون الطواعية فيها قليلة، والرئتين المترهلتين (flabby lungs) يكون التغير فى حجمهما كبير مقابل تغير صغير فى الضغط وتكون طواعيتها كبيرة، ومثال الحالة الأولى الأطفال المبتسرين (distress syndrome) ومثال الحالة الثانية إنتفاخ الرئتين (emphysema).

فيزياء الحويصلات الهوائية physics of alveoli

الحويصلات الهوائية تشبه فقاعات الهواء المتصلة، وهى تقلل حجمها نظرا لأن معامل التوتر السطحي للسائل المبطن لها غير ثابت، وتسمى هذه البطانة بسطح الترابط (surfactant) وهو يساعد الرئة على تأدية وظائفها.

وضغط الفقاعة (P)، ونصف قطرها (R) وتوترها السطحي (δ) تربطهم العلاقة:

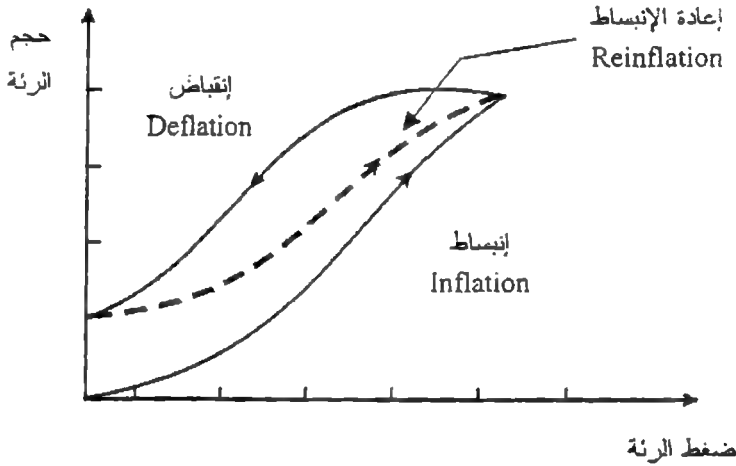
$$P = 4\delta / R$$

والفقاعات غير المتساوية الضغط إذا إتصلت ببعضها فإن ضغطها يتساوى، إلا أن الحويصلات الهوائية لا تماثل الفقاعات تماما لكونها تميل لتقليل حجمها أو تنقبض على بعضها (collapse)، والحويصلات لا تنقبض جميعها فى آن واحد ويرجع السبب فى ذلك لأن معامل توترها السطحي غير متساوى لوجود السطح المترابط (surfactant)، وقد دلت الدراسة على أن الفقاعات الخارجة من الرئة تظل مستقرة وقت طويل الأمر الذى يدل على أن الضغط داخلها قليل ومن ثم يكون معامل توترها السطحي قليل وذلك يدل على أن معامل التوتر السطحي للسائل المبطن للحويصلات الهوائية قليل ومن ثم لا تنقبض تماما، ويقل معامل التوتر السطحي للسائل المبطن للحويصلات الهوائية فى حالة الزفير أكثر حيث تنقبض الحويصلات الهوائية ويقل حجمها وبالتالي تقل مساحتها السطحية والحويصلات التى لا يغطى سطحها سائل الترابط (surfactant) فإنها تنقبض كما تنقبض فقاعات الهواء وتحتاج إلى ضغط كبير لإعادة فتحها حيث يمثل ذلك مشكلة للأطفال المبترسين.

ودراسة سلوك الضغط والحجم (P-V) لرئة يعطى فكرة على أنه إذا إنقبضت الرئة تماما فإنه لابد من قدر كبير من الضغط لنبداً فى الإنبساط (inflation) مرة أخرى بالضغط كما فى حالة نفخ بالونة مطاطية لأول مرة وعند ذلك يكون إنبساط الرئة أمر أسهل حتى تصل إلى قرب أقصى حجم لها.

◆ (الباب الحادى عشر- فيزياء التنفس) ◆

ولكن الضغط يسلك طريق مخالف فى حالة الانقباض، عندما يصل الضغط إلى صفر فإن الرئة تظل محتفظة ببعض الهواء أى أن حجمها لا يساوى صفر ومن ثم تحتاج إلى ضغط قليل لإعادة الانبساط مرة أخرى أى طريق إعادة الانبساط لا ينطبق على طريق الانقباض السابق، وبذلك برسم العلاقة بين الضغط والحجم (P-V) نحصل على دورة يكون فيها منحنى الانبساط الأول يبدأ حيث P مساوى صفر والحجم صفر وعندما تصل الرئة إلى قرب حجمها الأقصى فى نهاية عملية الشهيق تبدأ الرئة فى الانقباض ويقل الحجم والضغط حتى يصل الضغط إلى الصفر ولكن الحجم يصل إلى قيمة تسمى أثر المتبقى من السعة (functional residual capacity) عند نهاية عملية الزفير ثم تبدأ عملية الانبساط من ضغط مساوى للصفر لكن الحجم يكون له القيمة المذكورة، وبذلك لا ينطبق منحنى الشهيق على منحنى الزفير كعلاقة بين الضغط والحجم فى نصفى الدورة مكونان خية التخلف (hysteresis loop).



شكل (3-11)

وقد وجد أن المساحة داخل هذه الخية (hysteresis loop) تتناسب مع الطاقة المفقودة خلال دورة الشهيق والزفير على شكل حرارة، وتكون هذه المساحة صغيرة عندما يكون المد والحجز فى الرئة هادئ فى الظروف العادية لعملية التنفس.

وإذا استمرت عملية التنفس بالشكل العادى السابق ذكره فإن بعض الحويصلات الهوائية تنقبض تماما ويلزم زيادة الضغط لإعادة فتحها الأمر الذى يزيد مساحة الخية (hysteresis loop) ويتحرك المنحنى كله فى اتجاه زيادة الضغط.

فإذا ما تم الانبساط عاد المنحنى إلى ما كان عليه وذلك يكون عن طريق شهيق عميق (deep) أو شهقه (a sigh)، ولذلك فى حالة العمليات الجراحية يدفع الطبيب (anesthesiologist) بشكل فجائى قدر من الغاز فى رئه المريض لإعادة فتح الحويصلات الهوائية التامة الانقباض، وكم صدر المريض (Taping) يمنعه من أخذ نفس عميق وبذلك يبدو وكأن جزء من فراغ الرئة قد فقد نتيجة إنقباض بعض الحويصلات الهوائية بشكل تام و (atelectasis).

ومنحنى (P-V) لرئة تعاني من قلة سطح الترابط (surfactant) فإن الحويصلات الهوائية التامة الانقباض سوف يزداد عددها ويحتاج الأمر إلى استمرار زيادة الضغط لإعادة فتحها وبذلك تزداد الخية التخلف فى اتجاه زيادة الضغط زيادة كبيرة لضمان فتح غالبية الحويصلات الهوائية، ويحدث ذلك عندما تكون مطاوعة الرئة قليلة ($\Delta v / \Delta p$).

كما أنه من الجانب الآخر عندما يكون المتبقى من الهواء داخل الرئة بعد عملية الزفير كبير نسبيا (functional residual capacity (FRC) فإن المريض يعاني من انتفاخ الرئة (emphysema) وذلك تكون المطاوعة (compliance) ($\Delta v / \Delta p$) كبيرة (الحجم كبير والضغط صغير) وبذلك تكون المساحة داخل خية التخلف (hysteresis loop) كبيرة كما أن منحنى p-v يكون مزاج كله فى اتجاه محور الحجم.

ميكانيكا التنفس The breathing mechanism

التنفس محكوم بغير إرادة الكائن الحى وبالرغم من هذا فإن معدل التنفس ممكن أن يتغير دون انتباه من صاحبة إلا إذا ألم به أزمة ربو أو انتفاخ الرئة والتحكم

الفسيولوجى للتنفس يعتمد على عوامل كثيرة ولكن مركز التنفس فى المخ عليه المعول فى ذلك، والرئتين لا تنقبض كل منهما بشكل تام فى الظروف العادية لأنهما محاطتين بإناء مملوء هواء ومغلق غلقا تاما وهو الصدر، وطالما أن الحجاب الحاجز (Diaphragm) وقص الضلوع (ribcage) يتحركان فإن الرئتين يظلان فى تلامس معهما ويحمى الرئتان من الانقباض التام قوتين:

1. التوتر السطحي بين الرئتين وجدار الصدر.

2. ضغط الهواء داخل الرئتين.

وهناك عضلات كثيرة تشارك فى عملية التنفس منها عضلات بين الضلوع (intercostals) فى جدار الصدر تسبب تمدد الصدر عند إنكماشها ويساعدها عضلات أخرى بين الرقبة والصدر فى نفس الدور، وعضلة الحجاب الحاجز تلعب دورا كبيرا فى عملية التنفس حيث تشد الحجاب الحاجز إلى أسفل فى حالة الشهيق وهذا يؤدي إلى ضغط سالب داخل الرئتين ويسهل دخول الهواء وفى حالة الزفير فإن عضلة الحجاب ترتخي وتهدأ بسبب مرونة الرئتين وتعود إلى وضعها الطبيعى ويخرج الهواء من الرئتين إلى الخارج دون الحاجة لتحريك عضلات، وإذا حدث تعطل أو مشكل لعصنة الحجاب الحاجز فإن العضلات بين أضلاع القفص الصدرى تؤدي عملية التنفس.

وإذا حدث ثقب فى جدار القفص الصدرى فإن الرئة تنقبض تماما (collapse) وينخفض الحجاب الحاجز ويتمدد جدار القفص الصدرى، وتؤدي إلى فقدان الهواء المحبوس فى القفص الصدرى (pneumothorax)، وتعالج عادة بجعل أحد الرئتين تنقبض تماما دون الأخرى وذلك لكون كل منها فى حجرة مستقلة حيث تفرغ الرئة التى فى الحجرة التى حدث فيها الثقب.

وهذه الرئة تعود إلى حجمها الطبيعى خلال عدة أسابيع حيث يتم إمتصاص الهواء بواسطة الأنسجة.

ونظرا لأن الرئة والصدر مرنين فإنه يمكن تمثيل كل منهما بياني (springs)، وفي الظروف العادية هما مرتبطان إذا تمدد أحدهم فإن الآخر ينكمش، وفي الحالة الغير عادية (pneumothoras) فإن كل منهما لا يعتمد على الآخر.

مقاومة مسارات الهواء Air ways resistance

سريان الهواء في الرئتين يشابه سريان التيار الكهربى فى دائرة كهربية وكذلك فإن تطبيق قانون أوم لتيار الهواء يشابه تيار الكهرباء فى دائرة كهربية حيث يحل فرق الضغط (Δp) محل فرق الجهد ويحل معدل سريان الهواء $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ محل التيار الكهربى ومقاومة مسار الهواء R_g تعطى بفرق الضغط مقسوما على معدل سريان الهواء.

$$R_g = \Delta P / \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \text{أى أن :}$$

وحداتها وحدات الضغط على وحدات الحجم على الزمن $R_g = \frac{cm.H_2O}{Litre/sec}$ وقيمتها فى حالة الشخص البالغ فى حدود 3 سم. ماء/ لتر. ثانية.

وتعتمد على أبعاد مسار الهواء (القصبه الهوائية مثلا) ومعامل لزوجة الهواء، وقيمة المقاومة تزداد تعقيدا حسب تعقيد مسار الهواء (قد تقسم إلى عدة مقاومات متصلة على التوازي أو متصلة على التوالى أو متصلة على التضاعف) وتكون منظم مقاومة الهواء كامنة فى الجزء العلوى للمسار، والمسار الأفقى يساهم بنصف قيمة المقاومة R_g ، والمسارات الأخرى يقع 20% من قيمة المقاومة على الجزء العلوى منه، ويقع 10% من قيمة المقاومة على الطرف الثانى للمسار الهوائى، وذلك ناتج من الأمراض التى تصيب نهايات المسارات، وأمراض الشعب الهوائية والحويصلات الهوائية لا تؤثر كثيرا فى قيمة هذه المقاومة.

وثابت الزمن (Time constant) للرئتين يربط بمقاومة المسارات الهوائية R_g وطواعيتها (c) compliance، ويعطى بحاصل ضرب القيمتين :

أى : (ثابت الزمن) $R_g.C = \pi$.

وهو يشابه ثابت الزمن لمكثف فى الدوائر الكهربائية والذي يتم شحنه من خلال مقاومة، ونظرا لأن تركيب الرئة ومحتواها كثير التعقيد من حيث شكل الحويصلات وقنواتها الهوائية فإن ثابت الزمن لها يكون حسابه معقد، فإذا حدث أن جزء من أجزاء الرئة له ثابت زمن كبير عن الأجزاء الأخرى فإن هذا الجزء لن ينال حظه من الهواء ويكون سئ التهوية (poorly ventilated).

فيزياء أمراض الرئتين : physics of lungs diseases

فى حالة الاسترخاء جزء صغير من سعة الرئة هو الذى يكون مستخدم، وبذلك فإن معظم الأمراض الرئة غالبا لا تعطى أية أعراض محسوسة فى مراحلها الأولى، وعند الشعور بأعراض المرض يكون فى حالة متقدمة، ولذلك يفضل إتباع الطرق الوقائية فى الاهتمام بالرئتين.

فى حالة إنتفاخ الرئتان (emphysema) فإن الفواصل بين الحويصلات الهوائية تنهار ويتسع بذلك الفراغ الرئوى، هذا الانهيار فى أنسجة الرئة يقلل من مرونتها ويقلل مرونة كل حويصلة فإذا افترض أن كل حويصلة تعمل عمل ياي (سستة أو زنبرك) (spring) فإن عدد هذه اليايات يقل وبالتالي تقل المرونة، ولذلك تزداد طواعية الرئتين (compliance) أى أن تغير بسيط فى الضغط يؤدي إلى تغير كبير مقابل له فى الحجم $(\Delta V / \Delta P)$. وقد يتخيل البعض أن هذا يساعد الرئة على التنفس ولكن الأمر غير صحيح لأن جزء كبير من الشغل فى التنفس يبذل فى تقليل المقاومة فى طريق المسارات الهوائية (air ways) وفى حالة إنتفاخ الرئة فإن مقاومة المسارات الهوائية تزداد بشكل كبير جدا.

ويمكن فهم ذلك إذا تصورنا أن مرونة الأنسجة فى الرئة الصحيحة وغير المريضة ناتجة من ملايين اليايات (الحويصلات الهوائية) المترابطة والمتصلة، هذه

البايات لديها الرغبة فى الأنكماش لتتقبض الرئة وتتيح بذلك القوة التى تجذب بها جدران القفص الصدرى، وكذلك تجذب جدران الممرات الهوائية لتظل مفتوحة وبذلك تقل مقاومة الممرات الهوائية خلال عملية الزفير.

أما فى حالة الرئة المنتفخة إنتفاخ حاد (sever emphysema) فإن عدد هذه البايات (springs) يقل بشكل كبير وتصبح ضعيفة بل وتتقبض بسهولة فى حالة الزفير، وبذلك تزداد مقاومة الممرات الهوائية وهى العرض الوحيد لهذا المرض فى حالة حدته، وزيادة حجم الرئة يزيد من أثر المتبقى من الزفير السابق (FRC) ويبدو الصدر أكثر إنتفاخا ويبدوا وكأنه برملى، وفى هذه الحالة يبدو المريض وكأنه لا يستطيع إطفاء شمعة فيذهب إلى طبيبه.

هذا المرض يحدث بشكل نادر لغير المدخنين ولكنه كثيرا ما يحدث بين مدمنى التدخين.

فى حالة الأزمة الربوية (Asthma) يكون العرض الظاهر فيها هو صعوبة الزفير وذلك لزيادة المقاومة فى الممرات الهوائية ويكون بعض هذه المقاومة ناتج من الاستسقاء (swelling) والمخاط (mucous) فى الممرات الهوائية الدقيقة، ولكن غالبيته سببه يكون من إنقباض العضلات المحيطة بفتحات الممرات الهوائية الكبيرة، وفى هذه الحالة تكون طواعية الرئة عادية ولكن (FRC) تكون عالية عن الطبيعى حيث يبدأ المريض فى الاستنشاق قبل نهاية الزفير السابق.

فى حالة الرئة المتليفة (fibrosis) فإن الغشاء بين الحويصلات الهوائية يزداد سمكه ويكون لذلك أثرين:

1. طواعية الرئة تقل.

2. يقل إنتشار الأكسجين فى الأوعية الدموية الشعرية الرئوية.

وفى معظم الأحوال تكون مقاومة الممرات الهوائية طبيعية وغير متأثرة ولكن المريض يكون مجهد وعنده كرشة نفس وألم فى التنفس وإذا بذل مجهود تكون دورة

تنفسه قصيرة (shortness of breath)، ويحدث هذا المرض للرئة التى تتعرض للإشعاع ومؤثرات أخرى.

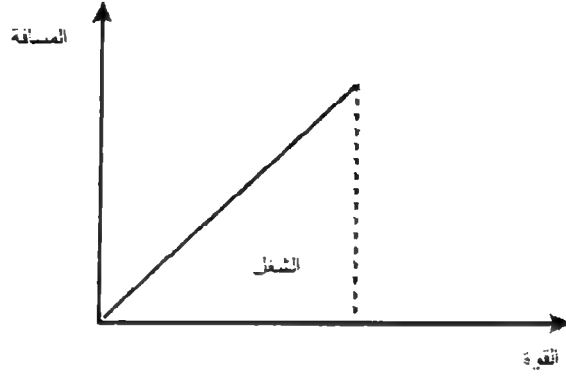
الشغل المبذول فى التنفس Work done in breathing

الشغل المبذول فى عملية التنفس هو الشغل المبذول فى تمدد الرئة والقفص الصدرى والحجاب الحاجز فى حالة الشهيق. وفى دراسة منحنى الضغط والحجم لكل من الشهيق والزفير حصلنا على خية التخلف (hysteresis loop) والمساحة الداخلية لهذه الخية تتناسب مع كمية الحرارة المنتجة والمفقودة فى عملية التنفس، ونظرا لأن كمية الحرارة هذه ترتبط بشكل طردى مع الشغل المبذول فإن كمية الشغل المبذول يمكن حسابها بمعرفة كمية الحرارة المفقودة وإستخدام العلاقة:

$$W = JQ$$

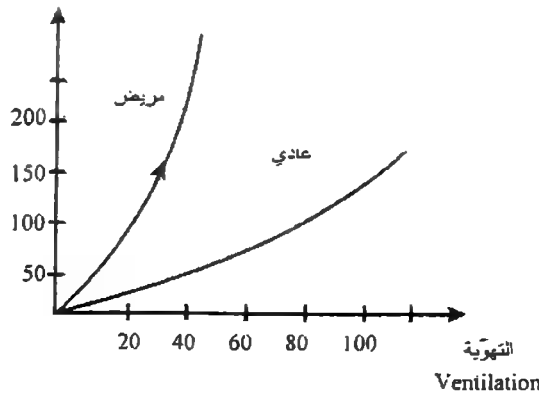
حيث w الشغل المبذول، Q كمية الحرارة المفقودة فى عملية التنفس والتى تحسب من المساحة داخل منحنى الشهيق والزفير، J مكافئ جول.

ويمكن أن نتصور أن الحركة المبذولة فى تمدد القفص الصدرى والرئة والحجاب الحاجز وكأنها حركة بايات مرنة تكون فيها قوة مرونتها F هى القوة المؤثرة لبذل الشغل وسعة الذنبذة فى صعود الصدر وهبوطه حال التنفس هى المسافة، وبرسم العلاقة بين القوة والمسافة نحصل على الشكل (11-4) تكون فيه المساحة المظللة هى الشغل المبذول فى عملية التنفس.



شكل (4-11)

ويمكن حساب الشغل المبذول في حالة التنفس بحساب كمية الأكسجين المستهلك بشكل زائد في حالة بذل مجهود. وكمية الأكسجين المستهلكة تتناسب طردياً مع كمية الحرارة المنبعثة من الطعام المحترق، وكمية الأكسجين المستهلكة بالزيادة في حالة المجهود وتستخدم في عضلات التنفس (الرئة، القفص الصدري، الحجاب الحاجز)، وشكل (5-11) يوضح كمية الأكسجين المستهلكة لشخص عادي وشخص مريض بانفخاخ الرئة والمنحنى الممثل للحالة المرضية يوضح إستهلاك كمية إضافية من الأكسجين في الشغل المبذول في عملية التنفس بمعدل أسرع وذلك لزيادة التهوية، وذلك لعدم مواكبة كمية الأكسجين لإحتياجات جسمه، وبمعرفة الفرق في كمية الأكسجين المستهلك يمكن حساب الشغل المبذول.



شكل (5-11)

الباب الثاني عشر

فيزياء الضغط في الجسم

الباب الثاني عشر

فيزياء الضغط فى الجسم

مقدمة

يعرف الضغط على أنه القوة المؤثرة على وحدة المساحات، ويقاس بوحدة القوة على وحدة المساحات $\left(\frac{\text{نيوتن}}{\text{متر}^2}\right)$ أو $\left(\frac{\text{داين}}{\text{سم}^2}\right)$ والضغط الجوى قيمته $10^5 \times \left(\frac{\text{نيوتن}}{\text{متر}^2}\right)$ والوحدات العملية للضغط فى النظام العالمى (SI) هى البسكال pascal (pa). ويقاس الضغط بمعرفة إرتفاع عمود من الزئبق (Hg) فى الطب، ومثال ذلك أقصى ضغط فى الجسم (peak blood pressure or systolic) هو (120 مم. زئبق) وهذا يعنى أن عمود من الزئبق إرتفاعه هذه القيمة له ضغط عند قاعدته يساوى الحد الأقصى لضغط المريض، وقيمة الضغط الجوى على هذا المقياس (670 مم. زئبق).

ويقاس الضغط تحت عمود أى سائل ويمكن حسابه بمعرفة:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Mg}{A} = \frac{V \cdot \rho}{A} \cdot g = \frac{h}{A} \cdot A \rho \cdot g = h \rho g$$

حيث p الضغط، F القوة، M كتلة، V الحجم، ρ الكثافة، g عجلة الجاذبية، A المساحة، h إرتفاع عمود السائل، ونظراً لأن كثافة الزئبق (13.6 جرام / سم³) فإن إرتفاع عمود الماء الذى يعطى ضغط واحد جوى لابد أن يكون طوله مساوياً 670 مم مضروباً فى كثافة الزئبق (كثافة الماء واحد) فإفترض أن مساحة المقطع ثابتة،

وعندما يكون الضغط المقاس قليل فإن الزئبق يستبدل بسائل آخر كثافته أقل مع مراعاة القاعدة السابقة والأمر يكون سهل إذا كان السائل ماء.

والجسم البشري به مناطق يكون الضغط فيها أقل من الضغط الجوى أو يكون سالب.

ومثال ذلك يكون الضغط الجوى بالرئة أقل من الضغط الجوى حال الشهيق وإلا ما أندفع الهواء إلى داخل الرئتين، وهو يكون سالب فى هذه الحالة، وعند إمتصاص شئ فإن الضغط فى تجويف الفم يكون سالب وتتناسب قيمة هذا الضغط السالب مع الفارق فى المسافة الرأسية بين الفم والسائل الممتص.

والقلب يعمل كمضخة ليدفع الدم إلى جميع أجزاء الجسم فى الشرايين بضغط يتراوح قيمته فى المدى (100-140 مم. زئبق)، والدم العائد إلى القلب فى الأوردة يكون ضغطه قليل ويحتاج لمساعدة ليعود إلى القلب من الأقدام، ويساعد على ذلك نظام خاص وهو ضغط العضلات وإذا فشل فى تأدية دوره يؤدى إلى ظهور دوالى الساق.

قياس الضغط فى الجسم

Measurement of pressure in the body

قياس الضغط ينحصر فى قياس إرتفاع عمود سائل يعطى ضغط مساويا للضغط المقاس، والأجهزة التى يقاس بها الضغط بناء على هذه القاعدة تسمى مانومترات manometers، والشكل الشائع للجهاز المستخدم أنبوبة على شكل حرف U بها سائل توضع ملتصقة قاعدتها بمانومتر الضغط المراد قياسه.

وعندما يثبت يكون فرق إرتفاع السائل هو القيمة المطلوبة، وهذا النوع يقيس الضغط سواء كان سالب أو موجب، والسائل المستخدم يكون عادة زئبقاً أو يكون ماء أو أى سائل آخر كثافته قليلة إذا كان الضغط المقاس ضعيف، ومقياس الضغط المستخدم فى الطب هو الأسفيجومانومتر sphygomanometer ومنه نوعان، أحدهم

◆ (الباب الثاني عشر- فيزياء الضغط في الجسم البشري) ◆

يقيس الضغط بارتفاع الزئبق في أنبوبة زجاجية، والنوع الآخر يقيس الضغط بتغيير شكل إناء مرن يتحرك معه مؤشر يدل على قيمة الضغط، وهناك أجزاء من الجسم تأخذ مؤشر على تغير الضغط، فالأذن مثلا تستشعر التغير في الضغط بالتزاييد أو النقص من أثر الهواء على طبلة الأذن وكثيرا ما تشعر بهذا عند الارتفاع في طائرة أو في مصعد، وحجم الأوردة على ظهر اليد كذلك يؤخذ مؤشر على الضغط وكثيرا ما يلاحظ أحدا نفور أوردة ظهر اليد، والتجربة في رفع اليد إلى مستوى أعلى من القلب ترى انخفاض الضغط كما أن وضع اليد في أسفل مستوى القلب يرى زيادته.

الضغط داخل الجمجمة pressure inside the skull

يحتوى المخ على (155 سم³) من سائل الحماية (cerebrospinal fluid (CSF)) موزع في مجموعة الفجوات المتصلة (ventricles) وتتصل هذه الفجوات ببعضها كما تتصل بقنوات بها نفس السائل حول الحبل الشوكي داخل العمود الفقري. (aqueduct) وهذه تكون ضيقة، فإذا حدث أنه سدت الفتحة الموصلة بين السائل حول المخ والسائل حول الحبل الشوكي فإن سائل الحماية (CSF) يحبس في الجمجمة ويزداد ضغطها الداخلي، وهذه الزيادة في الضغط يؤدي إلى زيادة حجم الجمجمة وتسمى هذه الحالة بإستسقاء الجمجمة (water head or Hydrocephalus)، هذه مشكلة متوسطة الشيوع في الرضع (Infants) وتعالج جراحيا بإزالة السده أو تغيير المسار (by-pass drainage)، ولتشخيص هذه الحالة يقاس محيط الجمجمة فوق الأذن وقيمتها العادية للأطفال حديثي الولادة 32-37 سم والقيم الأكبر من ذلك تعنى حدوث حالة الاستسقاء (Hydrocephalus)، أو تستخدم طريقة إنتقال الإضاءة، كما يمكن قياس ضغط الجمجمة بشكل مباشر.

ضغط العين Eye pressure

السائل المائي والجسم الزجاجي الشفافين في كرة العين والذي من خلالها يمر الضوء ليصل إلى الشبكية يكون تحت ضغط ليحفظ على العين شكلها وحجمها، وأبعاد العين دقيقة جدا لتعطى أحسن رؤية والتغير الذي يحدث في حدود (0.1 مم) في قطر

كرة العين يكون له أثر كبير على وضوح الرؤية، ولذلك ترى الآثار المشوهة للرؤية عندما نضغط على العين بالإصبع وهي مغمدة.

وضغط العين في العين الصحيحة العادية يتراوح ما بين (12-23 مم زئبق) والسائل الموجود في مقدمة العين بين القرنية والعدسة تقريبا ماء، والعين دائما تفرز السائل المائي والزائد منه ينصرف في القنوات الدمعية (drain system)، فإذا حدث إنسداد جزئي لهذه القنوات فإن ضغط العين يزداد وتؤثر هذا الزيادة على توارد الدم إلى شبكية العين وهذه بدوره يؤثر على وضوح الرؤية.

وهذه الحالة تسمى المياه الزرقاء (Glaucoma) وتعالج في الحالات البسيطة والمتوسطة بإزالة السدة أو عمل مسار جديد للسائل الزائد، والحالات الحادة ينتظر العفو فيها من الله.

وسابقاً كان يُعَن ضغط العين باللمس بالأصابع المدربة، والآن يقاس ضغط العين بالتونومتر (Tonometer).

الضغط في الجهاز الهضمي

Pressure in the digestive system

المسار الهضمي يمتد في الجسم بطول 6 متر على شكل ملتو داخل بعضه وبه فتحتان السفلية منه معلقة معظم الوقت، وبالمسار أيضاً إختناقات تساعد على تأدية المهمة مثل الصمامات بين أجزاء المسار والعضلات العاصرة (sphincter) (عضلة دائرية)، والصمامات مصممة لتجعل حركة المحتوى في إتجاه واحد كما أن العضلات العاصرة تفتح كلما لزم سواء بين المرئ والمعدة (البواب) أو عند نهاية المسار الهضمي، ويمكن عكس الاتجاه في الحالات الخاصة مثل التقيؤ (vomiting or emesis) والحقن الشرجية والضغط داخل المسار أكبر من الضغط الجوي في معظم المسار الهضمي (GI) (gastrointestinal system) والضغط في

◆ (الباب الثاني عشر- فيزياء الضغط في الجسم البشري) ◆

منطقة المريء (esophagus) هو متوسط الضغط بين الرئتين وجدار الصدر وهو عادة أقل من الضغط الجوي، ويقاس الضغط المتوسط هذا (intratharacic) بتعيين الضغط في المريء.

وفي حالة تناول الوجبات يزداد الضغط في المعدة حيث تتمدد جدرانها، ونظراً لأن الزيادة في الحجم تتناسب مع مكعب نصف القطر (R^3) والزيادة في قوة الشد (stretching) تتناسب مع نصف القطر (R) فإن الزيادة في الضغط تكون بطيئة، والسبب المقنع في هذه الزيادة هو إبتلاع الهواء مع الطعام، وهذا الهواء المبتلع يتسبب في عملية التجشأ (burping or belching)، وفي المناطق الضيقة الأمعاء (Gut) من المسار الهضمي تتولد الغازات (flatus) بفعل البكتريا وتزيد الضغط، ويزداد الضغط أيضاً في هذه الأماكن بفعل العوامل الخارجية مثل التحزم والتحلق (خلقات) والطيران والعيوم.

والصمام بين المعدة والأمعاء الدقيقة (البواب) (pylorus) يمنع عودة الطعام إلى المعدة وعندما تتكون سدادات في الأمعاء الدقيقة أو الأمعاء الغليظة فإن الضغط بين منطقة السدد والصمام أسفل المعدة يزداد ويسبب نزيف ومضاعفات كثيرة قد تصل إلى الموت وإمرار أنبوبية مفرغة من الأنف إلى المعدة إلى الصمام يؤدي إلى راحة الموقف بتقليل الضغط (الأسطره)، وعندما لا يتحقق انخفاض الضغط بهذه الطريقة فإن التدخل الجراحي يكون وارد وذلك لأن الغازات المحبوسة تتمدد بسرعة، وتؤدي إلى زيادة الخطورة.

والضغط في الجهاز الهضمي والرئتان مرتبطان بواسطة الحجاب الحاجز الذي يفصل الجهازين عن بعضهما، وعندما يراد زيادة الضغط في الأمعاء guts فإن الشخص يأخذ نفس عميق حيث يغلق الرئتين عند الأحبال الصوتية glottis ويقوى عضلات البطن (abdominae muscles).

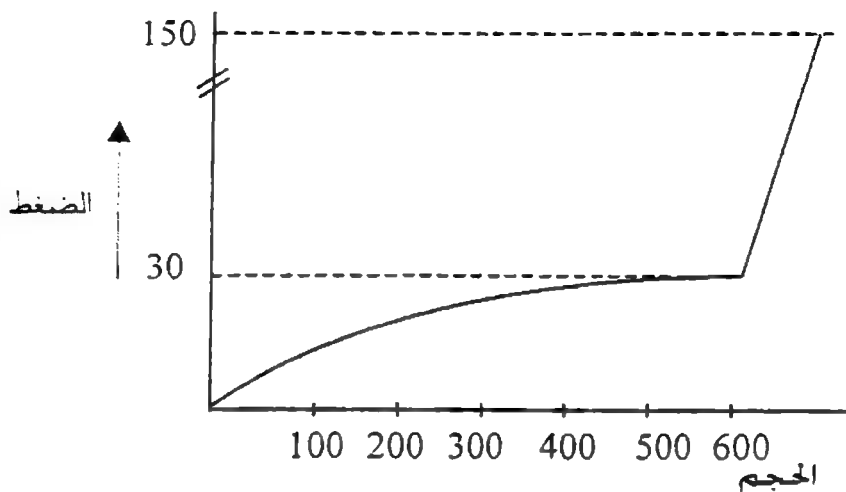
ضغط الهيكل العظمى Pressure in the skeleton

يعتبر أكبر ضغط فى الجسم هو ذلك الموجود عند مفاصل الهيكل العظمى بسبب الأحمال، وأثناء المشى يكون الضغط واقع على رجل واحدة بالتبادل وتصل قيمة الضغط على مفصل الركبة فى هذه الأثناء إلى عشرة أضعاف الضغط الجوى وكلما كانت المساحة السطحية لمفصل الركبة كبيرة كلما قل الضغط (القوة على وحدة المساحات)، والمفصل الطبيعى الصحيح يتمتع بأحسن طرق التزييت (lubrication) ويتحمل أكثر بكثير من المفاصل الصناعية والتي يجف تزييتها بسرعة ولا يعوض ومن حسن الحظ أنه كلما زاد الضغط على المفصل كلما زاد وتحسن معدل التزييت.

والعظام تتأقلم بطريقة تقلل الضغط فأصابع اليد عظامها ليست إسطوانية ولكنها (مبططة) متوازى مستطيلات فى اتجاه القبض وبذلك توزع قوة القبض على مساحة كبيرة وبذلك يقل الضغط على الأنسجة المغلفة للعظام.

الضغط فى المثانة : Pressure in the urinary bladder

نتيجة لتجمع البول فى المثانة يزداد ضغطها، ذلك لكون حجم المثانة يزداد كلما زاد الضغط داخلها وهذا أمر غير معهود، وذلك لكون أى زيادة فى نصف قطر المثانة فإن الحجم يزداد بزيادة R^3 ولكن الضغط يزداد بزيادة R^2 (المساحة)، وهذه هى العلاقة الحاكمة فى منحنى الضغط والحجم فى المثانة وخصوصاً فى الجزء الذى يكون فيه الميل قليل.



شكل (1-12)

والحجم الأقصى للمثانة هو (500 مل) بعده تشعر بالحاجة إلى التبول (micturition) or (gottago)، عند هذه اللحظة فإن ضغط المثانة يكون في حدود (150 سم ماء) بينما الضغط العادي للمثانة وهو (35 سم ماء). والمرضى الذين يعانون من البروستاتا (prostate) يكون ضغط المثانة لديهم في حدود (100 سم ماء).

وضغط المثانة يقاس بعمل أسطره مزوده بجهاز صغير لقياس الضغط (Pressure sensor) داخل المثانة من خلال مسار البول، أو بإدخال إبرة بشكل مباشر إلى المثانة من خلال البطن وبهذه الطريقة يمكن أيضا معرفة حالة الصمام العضلة العاصرة على بوابة المثانة) والتي لا يمكن أن تعطىها طريقة الاسطرة.

وضغط المثانة يزداد في حالة الكحة الحادة coughing والحرق straining والجلوس المربع (sitting up)، أثناء الحمل يؤدي وزن الجنين إلى زيادة ضغط المثانة والعوامل النفسية مثل الاستعداد إلى الامتحان قد يؤدي إلى زيادة عند مرات التبول أو على الأقل يؤدي إلى زيارة الحمام بقصد التبول.

تأثير الضغط أثناء الغطس (pressure effects while diving)

يتكون الجسم من أجزاء صلبة وأخرى سائلة غير مضغوطة لذلك فإن التغيرات في الضغط لا تؤثر على معظمها بشكل كبير إلا أن هناك بعض الفجوات في الجسم مملوءة بالغازات تتأثر بالتغيرات التي يحدثها الضغط بشكل عميق ويساعد قانون بويل ($PV=const$) في فهم ذلك.

والفجوات الموجودة في الجسم كثيرة منها الأذن الوسطى وحتى يتعادل الضغط الخارجى على طبلة الأذن فإن سريان الهواء داخل قناة استاكيوس يكون لازماً وتكون مغلقة ما عدا حالات البلع، والتثاؤب والتكرع (yawning and swallowing)، وفى حالات الغطس كل هذه الحالات غير متاحة ولذلك يشعر كثير من الغطاسين بألم على طبلة الأذن لعدم إمكانية معادلة الضغط الجوى على جانبيها، والغطس على عمق (175 سم ماء) ممكن أن يؤدي إلى ثقب طبلة الأذن حيث يكون فرق الضغط عليها (120 مم. زئبق). وخطورة الثقب تحت الماء البارد يؤثر على الأذن الوسطى في منطقة الدهليز (vestibular) حيث يؤثر على إتران الجسم ويسبب دوار البحر (nausea) المصحوب بالدوخة (Dizziness)، والغطاس الماهر يغلق أنفه بيده ويتنفس من فمه حتى يتبادل الضغط ويكرر ذلك كلما نزم، وعندما يتعادل الضغط على طبلة الأذن فإن الغطاس يسمع (بوب POP) من كلا الأذنين، وفى خلال عملية الغطس من الممكن أن تغلق بعض الفجوات التي في الجمجمة cavities sinus للبرد الذى يلاقيه الغطاس ومن ثم لا يتعادل الضغط داخلها مع خارجها ويشعر الغطاس بألم يسمى ألم عصر الفجوات (sinus squeeze) كما أن دموع العين (eye squeeze) قد تنهمر من جراء الحملقة تحت الماء فى حالة عدم استخدام قناع الوجه، وفى حالة إستعمال القناع فإن هواء الزفير يزيد الضغط على العين كلما إزداد العمق.

◆ (الباب الثاني عشر- فيزياء الضغط في الجسم البشري) ◆

والغواصين عندما يكونوا في الأعماق ثم يتوجهون إلى سطح الماء ويمسكون عن التنفس فإن حجم الهواء داخل الرئة يتمدد إلى الضعف ويزداد الضغط إلى قيم خطيرة في الرئة فإذا كانت الرئة مملوءة بكل سعتها فإن ضرر كبير يلحق بها، ولذلك يجب على الغطاس إذا كان خروجه من الأعماق سوف يكون سريع أن يوالى عمليات الزفير (exhale) أثناء الصعود حتى يتفادى هذه الأضرار.

والضغط في الرئة عند أى عمق يكون أكبر من ضغطها عند سطح البحر، هذا يعنى أن الهواء في الرئة تحت سطح الماء أكثر تكثف *more dense* وضغطه الجزئى أعلى (الضغط الجزئى لمكونات الهواء)، وهذا يسبب إنتقالاً كبيراً من جزيئات الأكسجين إلى الدم فإذا حدث أن الضغط الجزئى للأكسجين زاد فإن التسمم بالأكسجين يحدث (oxygen poisoning) (عندما يكون الضغط الجزئى للأكسجين 0.8 جوى)، يحدث ذلك تقريباً عند عمق 30 متر. أو عند ما يكون الضغط الجوى أربعة أمثاله على سطح البحر كما أنه عند عمق 30 متر وأكثر فإن تنفس الهواء يكون خطيراً جداً لأن ذلك يؤدى إلى زيادة النيتروجين في الدم والأنسجة وهذا يؤدى إلى مشكلتين :

1. التخدير النيتروجينى (nitrogen narcosis) أو تسمم بذهول (intoxication).

2. تقليل الضغط (Decompression sickness or bends).

وكلاهما يؤدى إلى زيادة النتروجين الذائب في الدم ثم يصل إلى الأنسجة كلما تعمق الغطاس نظراً لزيادة ضغط الهواء وزيادة الضغط الجزئى للنتروجين.

وعندما يصعد الغطاس إلى السطح فإن النيتروجين الزائد في الأنسجة سوف يزال من خلال الدم والرئتين وهذه العملية تكون بطيئة فإذا كان الصعود سريعاً فإن حويصلات نيتروجينية تتكون في الأنسجة والمفاصل وتسبب ألم شديداً جداً (The bends are quite painful)، ولعلاج الغطاس المتضرر يوضع فى غرفة ضغطها عال ويقلل الضغط بالتدريج وبالتالي يخرج النتروجين من خلال الدم والرئة بالتدريج.

وقد تحدث مشكلة أخرى عند صعود الغطاس إلى سطح البحر من الأعماق حيث أنه من الممكن أن تنفجر إحدى الأغشية الفاصلة بين الهواء والدم في الرئة ويختلط الهواء مباشرة بتيار الدم (air embolism).

وقد يحدث أن يحتبس الهواء تحت الجلد أسفل الرقبة أو في وسط الصدر كما أنه قد تنطبق الرئة (pneumothorax or lung collapse) وذلك لهروب الهواء بين الرئتين وجدار الصدر والأمر يحتاج في هذه المشاكل إلى معالج.

العلاج بزيادة ضغط الأكسجين

Hyperbaric oxygen Therapy (HOT)

الهواء الجوى الذى نعيش فيه خمسة أكسجين وأربعة أخماسه معظمها نيتروجين، وفى بعض الحالات الطبية يحتاج إلى زيادة الأكسجين التى تمد إلى أنسجة الجسم.

وأستوانة الأكسجين تخدم ذلك الغرض، ولزيادة سرعة هذا الإمداد بالأكسجين صممت غرف خاصة يكون فيها ضغط الأكسجين عال (high O₂ pressure chamber-hyperbaric) بعضها يسع المريض وبعضها تصلح لإجراء العمليات الجراحية.

وغرغرينة الغازات (Gas gangrene) مرض كان يقتل نصف ضحاياه قبل العلاج بزيادة ضغط الأكسجين (Hyperbaric O₂ Therapy (HOT)، حيث أن البسلس (bacillus) المسبب للغرغرينا الغازية لا يؤدي دوره ولا ينشط فى وجود الأكسجين وعموما كل مرضى الغرغرينا الغازية يعالجون بزيادة ضغط الأكسجين دون اللجوء لحالات البتر، (amputation).

وفى حالات التسمم بأول أكسيد الكربون (carbon monoxide) فإن كرات الدم الحمراء لا تستطيع حمل الأكسجين إلى الأنسجة لأن أول أكسيد الكربون أسرع إلى إحتلال مكانة فى الهيموجلوبين، وحتى وجود جزيئات قليلة من أول أكسيد الكربون

◆ الباب الثاني عشر- فيزياء الضغط في الجسم البشري ◆

على كرات الدم الحمراء يقلل قابليتها لحمل الأكسجين ونقله، وعادة يذوب 2% من الأكسجين المحمول على كرات الدم الحمراء في الدم، وباستخدام (HOT) فإن الضغط الجزئي للأكسجين يزداد بمقدار خمسة عشر مرة وذلك يسمح لكمية من الأكسجين أن تذوب في الدم وتفي باحتياجات الجسم وهذه الطريقة تساعد على شفاء كثير من ضحايا تسمم أول أكسيد الكربون.

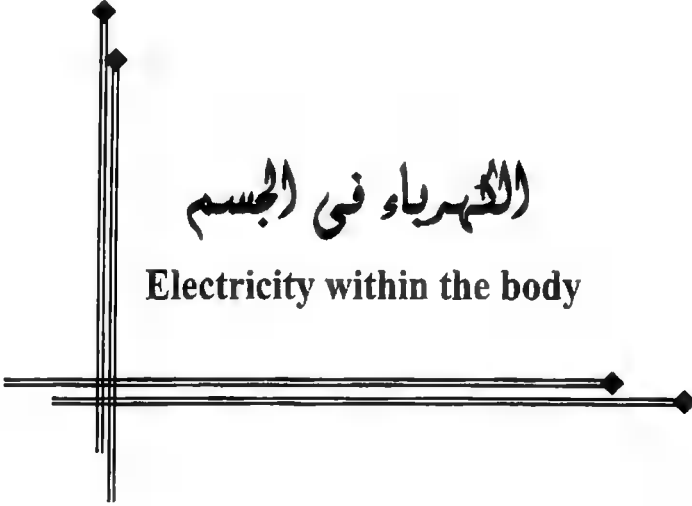
والعلاج بزيادة ضغط الأكسجين (HOT) يتزاج مع العلاج بالإشعاع في علاج أورام السرطان حيث يوضع المريض في غرفة بلاستيكية شفافة (Transparent plastic tank) ويصوب الإشعاع المشع تجاه الورم في وجود الأكسجين في الغرفة المذكورة، والأكسجين ينشط الخلايا السرطانية التي تكون أكثر استجابة للإشعاع المشع فتقتل ويفضل أن يكون ضغط الأكسجين في الغرفة في حدود 3 جوى الأمر الذى يستلزم متابعة مع ملاحظة علاج طبلية الأذن بعد هذه العملية التى تستغرق في حدود ساعة بينما يصوب الإشعاع المشع لمدة عشرة دقائق كما يحدده المعالج.

وسلبات العلاج بزيادة ضغط الأكسجين (HOT) بشكل عام يزيد من أخطار الحريق، ومن الممكن تمزق الغرف البلاستيكية وبذلك يتضرر المريض والطبيب وهينة التمرريض اللازم تواجدهما، إلا أن مثل هذه الأضرار إحتمال وقوعها قليل كما أنها لو حدثت فإن العلاج منها أمر سهل ولا يقارن بعلاج حالات السرطان مثلاً.

الباب الثالث عشر

الكهرباء في الجسم

Electricity within the body



الباب الثالث عشر

الكهرباء فى الجسم

Electricity within the body

مقدمة :

الكهرباء التى تتولد فى الجسم تستخدم فى التحكم وتشغيل الأعصاب والعضلات والأعضاء فى الجسم كله، والقوى المحركة للعضلات سببها تجاذب وتنافر الشحنات الكهربائية والفعل الأساسى فى المخ تحركه الكهرباء، والإشارات من وإلى المخ تدل على سريان تيار كهربى، والجهاز العصبى (system nerves) له دور فى كل المهمات التى يؤديها الجسم، حيث تنتقل المعلومات على شكل نبضات كهربية خلال الأعصاب المختلفة وهذه العملية تؤدي بأسرع ما يمكن وبأدق ما يمكن فى أقل وقت ممكن وبأكبر كم وبأعلى كفاءة ممكنة.

وتتولد الإشارات الكهربائية (electric signals) فى التفاعلات الكهروكيميائية التى تتم فى خلايا خاصة من الجسم.

الجهاز العصبى والخلية العصبية

The nerves system and neuron

الجهاز العصبى جزئين:

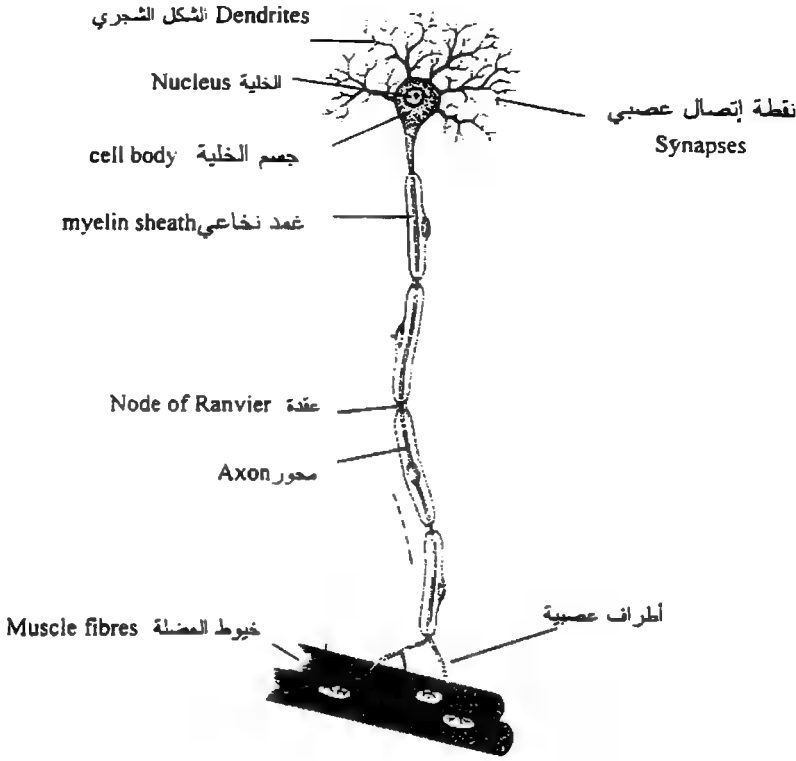
1. الجهاز العصبى المركزى ((central nerves system(CNS): ويتكون من المخ (brain)، النخاع الشوكى (spinal cord) أو الحبل الشوكى، الأعصاب السطحية (peripheral nerves-nerve filers (neurons) وهى التى توصل

المعلومات إلى المخ أو النخاع الشوكي وتسمى بالأعصاب الناقلة (sense nerves afferent)، والخيوط العصبية (fibres nerve) وهى توصل المعلومات من المخ أو من النخاع الشوكي إلى العضلة المعنية أو الغدة المعنية وتسمى (efferent nerves).

2. الجهاز العصبي اللاإرادي automatic nerves system: وهو الذى يتحكم وينظم حركة الأعضاء التى تعمل بشكل غير إرادي مثل القلب (Heart)، الأمعاء (intestines)، الغدد (glands) والتنفس (respiration).

ويحمى المخ ثلاثة أغشية مختلفة بالإضافة إلى عظام الجمجمة فضلاً عن أنه عائم فى سائل ماص للصدمات (shock-absorbing cerebrospinal fluid [CSF]) وكتلة المخ فى حدود (1300-1500 جرام) إلا أن طفوه فى السائل المذكور يعطى إحساس بأن كتلته أقل بكثير وفى حدود 60 جرام، ويتصل المخ بالنخاع الشوكي (وهو كذلك محاط بـ [CSF]) ويحميه العمود الفقري (spinal column).

ووحدة البناء الأساسية فى الجهاز العصبى هى الخلية العصبية (neuron) شكل (1-13) يوضح خلية متخصصة فى إستقبال وتفسير ونقل الرسائل الكهربائية (electrical messages) والخلية العصبية تتكون من جسم الخلية (cell body) وهو الذى يستقبل الرسائل الكهربائية من خلية عصبية أخرى خلال نقاط إتصال عصبية (synapses) موزعة على أطراف الشكل الشجرى للخلية (dendrites) وهذا الأخير مسئول عن إستقبال المعلومات من المؤثر (stimuli) أو من خلية أخرى، فإذا كان المؤثر بالقوة الكافية فإن الخلية العصبية تنقل إشارة كهربائية (electrical signal) إلى خارجها من خلال خيط عصبى يسمى المحور (axon)، هذا المحور أو الخيط العصبى قد يصل طوله إلى واحد متر يوصل الرسالة إلى العضلات أو إلى خلية عصبية أخرى.



شكل (1-13)

جهد الغشاء المنفذ : The membrane potentials

جدار الخلية الحيوانية عيار عن غشاء رقيق يتكون من طبقتين من البروتين بينهما طبقة من الدهون وسمك كل طبقة فى حدود 30 انجستروم وبذلك يكون سمك الغشاء فى حدود 90 انجستروم، وجدار الخلية يفصل بين منطقتين تحويان أيونات مختلفة سائلة ففى خارج هذا الغشاء يوجد أيونات الكلور (Cl^-) والصوديوم (Na^+) بتركيز كبير بينما فى داخل الخلية يتواجد أيونات البوتاسيوم بتركيز عال K^+ ، هذه الأيونات تنتشر خلال مسام الغشاء المنفذ بمعدلات تختلف بحسب نوع الأيونات، وبالإضافة إلى هذه الأيونات الثلاثة الأساسية فإنه توجد أيونات أخرى سالبة لعناصر

مثل الفوسفات، الكربونات وأيونات مواد عضوية فى داخل الخلية وخارجها، وهذه الأيونات السالبة أحجام جزيئاتها كبيرة عن أقطار المسام ولذلك يهمل دورها فى الانتشار من خلال جدار الغشاء المنفذ، كما أن الصوديوم والكلور يوجد داخل الخلية بشكل أيونى ولكن بتركيز قليل وكذلك البوتاسيوم يوجد خارج الخلية بتركيز قليل.

وتركيز البوتاسيوم (K^+) داخل الخلية أكبر من تركيزه خارجها بمقدار 30 مرة فإذا تمكنا من ضخ (K^+) خلال الغشاء المنفذ بمعدلات متساوية فى الاتجاهين فإن الفرق فى التركيز على جانبى الغشاء يكون صفراً وبالتالي لا يوجد ميل فى التركيز (Concentration gradient)، ولذلك يوجد على جانبى الغشاء شحنات غير متماثلة تؤدى إلى وجود فرق جهد فى حدود 70 مللى فولت وهذا الجهد يساعد على وجود اختلاف فى تركيز نفس نوع الأيونات داخل وخارج الخلية (ميل فى التركيز) وفرق الجهد (V) الذى يؤدى إلى توازن نسبة تركيز الأيونات على جانبى الغشاء عند درجة حرارة 310 k يعطى بالعلاقة Nernst equation.

$$V = V_i - V_e = -60 \log \left(\frac{C_i}{C_e} \right) \text{ MillVolt}$$

حيث V_e الجهد خارج الخلية، V_i الجهد داخل الخلية، C_i تركيز الأيونات المعنية داخل الخلية، C_e تركيز نفس الأيونات خارج الخلية.

فإذا كانت التركيزات داخل وخارج الخلية لأيون معين فى حالة إتزان فإن فرق الجهد على غشاء الجدار المنفذ يكون فى حدود -70 مللى فولت فى حالة أيونات الكلور وبالتالي ينتشر الكلور داخل وخارج الخلية بنفس المعدل، وهذا الجهد فى حالة أيونات الصوديوم يكون فى حدود (+60) مللى فولت وهذا الفرق فى الجهد بعيد عن القيمة -70 مللى فولت، وبالتالي تنتشر أيونات الصوديوم من خارج الخلية إلى داخلها فى إتجاه الأقل تركيز، وفرق الجهد هذا فى حالة أيونات البوتاسيوم يكون فى حدود -90 مللى فولت وهو ليس بعيد عن الجهد الفعلى على جانبى الغشاء وبالتالي تنتشر أيونات البوتاسيوم من داخل الخلية إلى خارجها فى إتجاه التركيز الأقل.

الباب الثالث عشر- الكهرباء فى الجسم

فإذا كانت عملية الانتشار هى العملية الحاكمة الوحيدة فإن أيونات الصوديوم تتحرك داخله إلى الخلية وأيونات البوتاسيوم تتحرك خارجه من الخلية، وتظل العملية كذلك حتى يحدث إتران، ولكن هذا لا يحدث حيث أن عمليات نقل نشطة تحدث لكل من (K^+) ، (Na^+) خلال الغشاء فى تفاعل كيميائى نشط يسمى sodium-potassium pump ويؤدى إلى حقن (Na^+) خارج الخلية، (K^+) داخل الخلية وذلك عكس ما هو معروف وهذه العملية تحتاج إلى طاقة وتستمد من عملية البناء فى الخلية (metabolic process in the cell).

وعملية الضخ هذه لأيونات البوتاسيوم إلى داخل الخلية لا تكون حادة وذلك لكون فرق الجهد لأيونات البوتاسيوم قيمته (90-) مللى فولت وهى قريبة من الجهد الفعلى على جانبي الغشاء المنفذ (70-) مللى فولت وبالتالي ما تلبث أيونات البوتاسيوم أن تدخل الخلية إلا وترغب فى الخروج منها ولكن بشكل هادئ رغبة منها فى العودة إلى حالة الاتزان، أما فى حالة أيونات الصوديوم فإن فرق الجهد لها يكون (60+) مللى فولت وهى قيمة كبيرة فى مواجهة الجهد الفعلى للغشاء (70-) مللى فولت، وعلى ذلك يكون ضخ أيونات البوتاسيوم ضعيف بالنسبة لضخ أيونات الصوديوم، ونظراً لأن الغشاء المنفذ سمكه قليل فإن المجال الكهربى عليه يكون كبير جداً.

$$E = \frac{V}{d} = \frac{0.070}{9 \times 10^{-1}} = 7.8 \times 10^6 \text{ volt / meter}$$

وهذا يُعتبر مجال كهربى كبير جداً، إلا أنه يتحقق بقدر قليل من الأيونات وتكون شحنتها فى حدود 3.0×10^{-13} كولوم، ويكون عدد الشحنات المسببة لذلك فى حدود 2×10^6 شحنة وهى قليلة جداً إذا ما قورنت مثلاً بعدد شحنات أيونات البوتاسيوم K^+ الموجودة فى وحدة الحجم (9×10^{10}) شحنة أى أن أيون واحد لكل 50.000 أيون من أيونات البوتاسيوم داخل ينتقل من داخل الخلية إلى خارجها يؤدى إلى وجود قيمة المجال المذكورة، وهى ناتجة عن قيمة الجهد الفعلى وهى (70-) مللى فولت والمسمى بجهد السكون (Resting potential) أو جهد الغشاء المنفذ.

Electrical potentials of nerves الجهد الكهربى للأعصاب

مما سبق نعلم أنه يوجد حول جدار (غشاء) كل خلية عصبية فرق جهد كهربى ناتج من وجود أيونات عالية السالبة (more negative) داخلها عن خارجها وتكون الخلية تحت هذه الظروف مستقطبة (polarized) ويكون الجهد السالب داخلها (فى المدى 55-85 مللى فولت) أعلى من خارجها، ويسمى هذا الفرق فى الجهد بفرق جهد السكون (resting potential) للخلية. وعند إثارة الخلية العصبية يحدث تغير لحظى فى جهد السكون عند نقطة الإثارة.

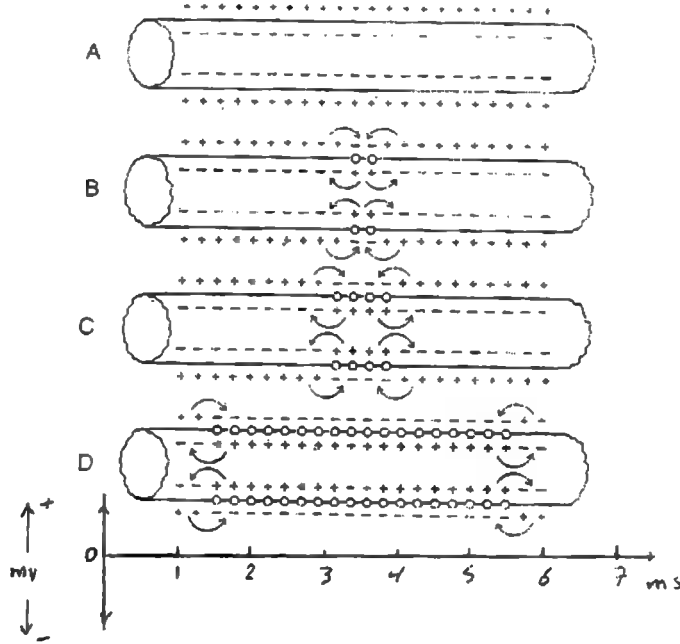
هذا التغير فى الجهد يسمى جهد الحدث (action potential) وهو ينتشر على طول المحور العصبى (axon) ويعتبر جهد الحدث هذا أهم طريقة لنقل الإشارات الكهربائية خلال الجسم، وتحدث الإثارة بطرق عديدة مثل التسخين، التبريد، الضوء، الرائحة، والإثارة الميكانيكية. وإذا كانت الإثارة كهربية فإن 20 مللى فولت تكون كافية لإحداث جهد الحدث.

ويمكن تخيل فكرة جهد السكون بوضع سائل (kcl) مختلف التركيز فى إناء واحد بحيث يفصل التركيزين غشاء منفذ لأيونات البوتاسيوم من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل ولا ينفذ أيونات الكلور، وبذلك تنفذ أيونات البوتاسيوم من الجانب الأعلى تركيزا (H) إلى الجانب الأقل تركيزا (L) وتستمر عملية الانتشار هذه حتى يتساوى تركيز K^+ على الجانبين وتصل إلى حالة إتزان عند ذلك الشحنات الموجبة K^+ زادت فى الجانب الأقل تركيز وتكون الشحنات السالبة زادت فى الجانب الأكثر تركيز ويكون فرق الجهد بين جانبي الغشاء المنفذ هو جهد السكون (resting potential) ويكون ذلك فى حدود (-80) مللى فولت حول جدار المحور العصبى axon للخلية العصبية.

فإذا فرض أن لدينا محور عصبى axon كما فى الشكل (13-2) وأثير طرفه (الأسر) فإن جدرانه تصبح منفذه لأيونات الصوديوم (Na^+) التى تدخل فيه وتعكس إستقطابه (depolarized)، وبالتالي يصبح داخله موجب لحظيا (50 مللى فولت) عند

◆ (الباب الثالث عشر- الكهرباء في الجسم) ◆

نقطة الإثارة ونظرا لأن الأيونات الموجبة للصوديوم (Na^+) داخل المحور العصبي يجاورها الأيونات الأصلية السالبة وهي الأكثر كثافة فإنه بفعل قانون الجذب (قانون كولوم) تنتقل أيونات الصوديوم إلى جهة اليمين من جزء آخر وهكذا يتم إنتشار جهد الحدث على طول المحور العصبي حتى يصل إلى هدفه وبذلك تنتقل الإشارة الكهربائية أى تنتقل الرسالة حيث ينعكس إستقطاب كل جزء تصل إليه الرسالة. أما عند نقطة الإثارة الأصلية فإنها تعود إلى ما كان عليه من إستقطاب أى يعود داخلها أكثر سالبة من خارجها ويكون فرق الجهد مرة أخرى فرق جهد السكون (Resting potential).



شكل (2-13)

وجهد الحدث هذا زمن ظهوره في موقع ما لا يتعدى أجزاء قليلة من الثانية (مللى ثوانى) حيث ينتقل بسرعة فائقة من نقطة إلى أخرى على طول المحور العصبي axon الذى يوصله إلى خلية أخرى أو إلى عضلة أو إلى غدة حسب الأوامر، إلا أن

زمن ظهور جهد الحدث لعضلة القلب يستمر زمن أطول ويكون فى حدود 150-300 مللى ثانية.

والمحور العصبى (axon) للخلية العصبية نوعين حيث يكون جدار أحد النوعين مغطى بغطاء دهنى يعمل كطبقة عازلة من مادة نخاعية (myelin) غير متصلة يتخللها مناطق عارية من الغطاء تسمى عقد (nodes) أو عقد رينوفر (nodes of ranvier) ويسمى هذا النوع بالعصب المعزول (nerves myelinated)، أو العصب المغمدة.

والنوع الآخر هى المحاور العصبية الغير مغمدة (unmyelinated nerves) والنوع المعزول يوصل الإشارات الكهربائية من موضع إلى موضع بشكل أسرع وهو النوع الشائع فى البشر، والمادة العازلة جيدة العزل فضلا عن أن سعتها الكهربائية قليلة (low electric capacity) وجهد الحدث أثناء إنتقاله خلال المحور العصبى يقل بزيادة المسافة أى سعة نبضة جهد الحدث تقل بالتدرج إلا أنها عند (عقد رينوفر) تعمل بشكل أنشط وتستعيد قوتها وشكلها، وبذلك يرى جهد الحدث بشكل شراره وكأنه ينتقل من عقدة إلى أخرى على شكل قفزات (salutatory) ويسمى بالتوصيل القفزى (salutatory conduction).

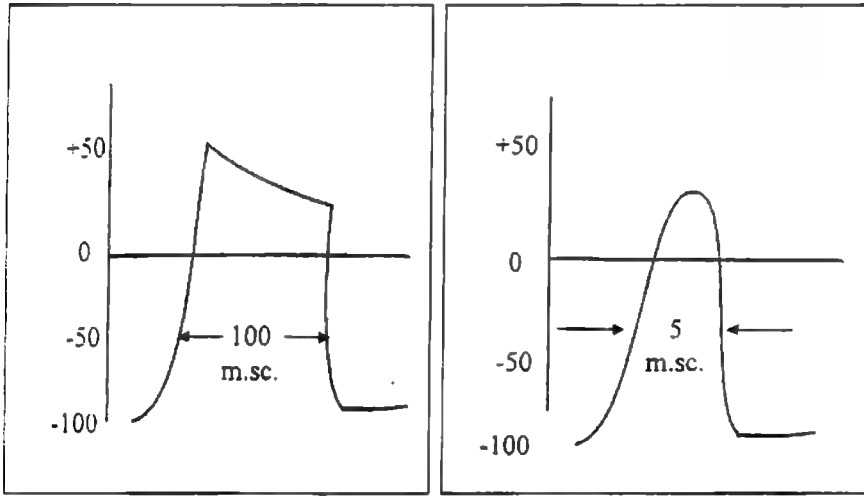
والعوامل المؤثرة على سرعة الانتشار جهد الحدث action potential هى:

1. المقاومة الكهربائية لمادة الغشاء (جدار المحور العصبى).
2. السعة الكهربائية لمادة الغشاء أو بمعنى آخر كم الشحنات الكهربائية المخزنة على الغشاء.

ونقصان كل من المقاومة الكهربائية والسعة الكهربائية يزيد من سرعة إنتشار جهد الحدث، والمقاومة الكهربائية للمحور العصبى تقل بزيادة نصف قطره، كما أنه كلما قلت الشحنات الكهربائية على سطح جدار المحور العصبى كلما كان عكس إستقطابها أسرع، ومن ثم تزداد سرعة إنتشار جهد الحدث وتلك خواص المحور العصبى المعزول.

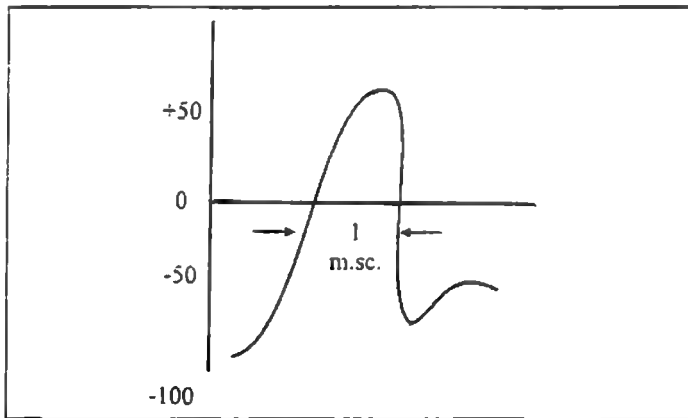
الباب الثالث عشر- (التفرياء في الجسم)

ويمكن تواجـد عدد عـديد من المحاور العصبية المعزولة في أقل حيز ممكن دون أى أثر لفقدان جهد الحدث من أى منهما لكونها معزولين وبذلك تتواجد الأعصاب على شكل حزم في أضيق حيز ممكن (حوالى 10.000 محور عصبي معزول قطر كل منهم 10 ميكرومتر في حيز قدره 105 مم² وشكل (3-13) يوضح جهد الحدث لأجزاء مختلفة:



(a) خلية عضلة القلب

(b) خلية عضلة عظام



(c) محور عصبي

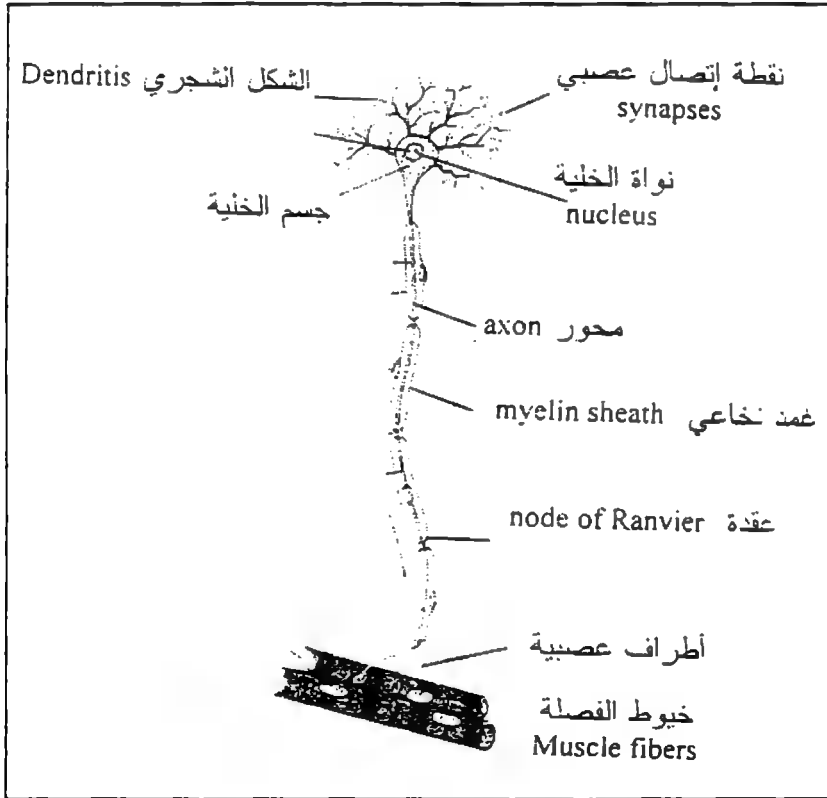
شكل (3-13) الشكل الموجي لنبضة الحدث

النبضات الكهربائية من العضلات

Electrical signals from muscles

المخطط الكهربى للعضلة: The electromyogram (EMG)

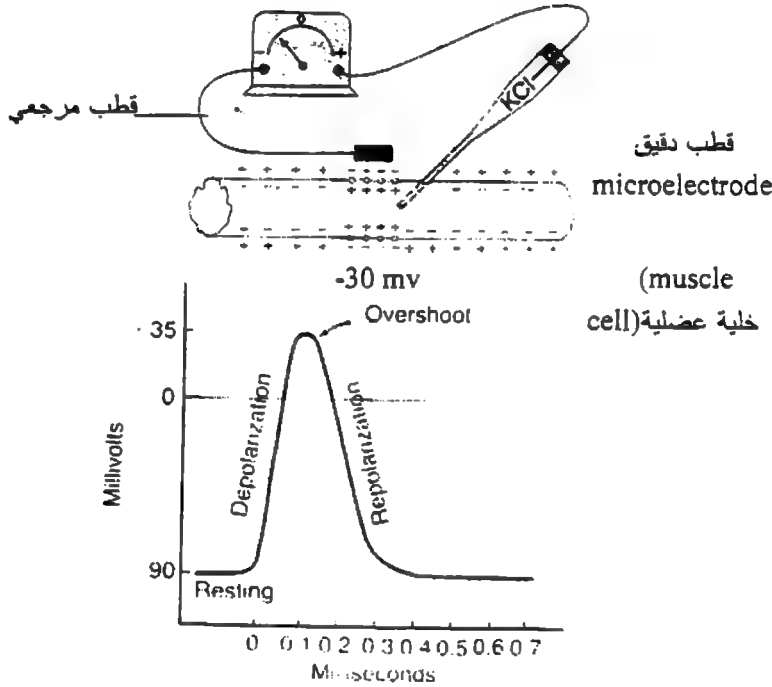
عند إتصال أحد أطراف الخلية العصبية بأى عدد من خلايا عضلة فإن ذلك يكون ما يسمى بالوحدة المحركة motor unit، والشكل (4-13) يوضح خلية عصبية من الحبل الشوكى إتصل أحد أطرافها بعدد عديد من الخيوط العضلية مكونة وحدة محركة (يصل عدد الخيوط العضلية إلى 2200 خيط).



شكل (4-13)

الباب الثالث عشر- الكهرباء في الجسم

وجهد السكون في الخيوط العضلية يساوى جهد السكون في المحاور العصبية (axon) وعند إتصال المحور العصبى بالعضلية شكل (4-13) وينتقل إليها جهد الحدث (Action potential)، والذي يمكن قياسه بإدخال قطب دقيق جداً (micro electrode) في خلية جدار العضلة، ويفضل قياسه بهذه الطريقة إلا أن استخدام قطب مسطح يوضع على سطح العضلة يكون أسهل مع الاحتفاظ بالقطب الثانى فى الوسط حول العضلة، وشكل (5-13) يوضح الدائرة الكهربائية المستخدمة فى قياس جهد الحدث لخلية عضلة جهد سكونها (-65) مللى فولت وجهد الحدث فيها 30 مللى فولت ونبضة جهد الحدث موضحة على راسم الذبذبات الكهربائى (CRT).

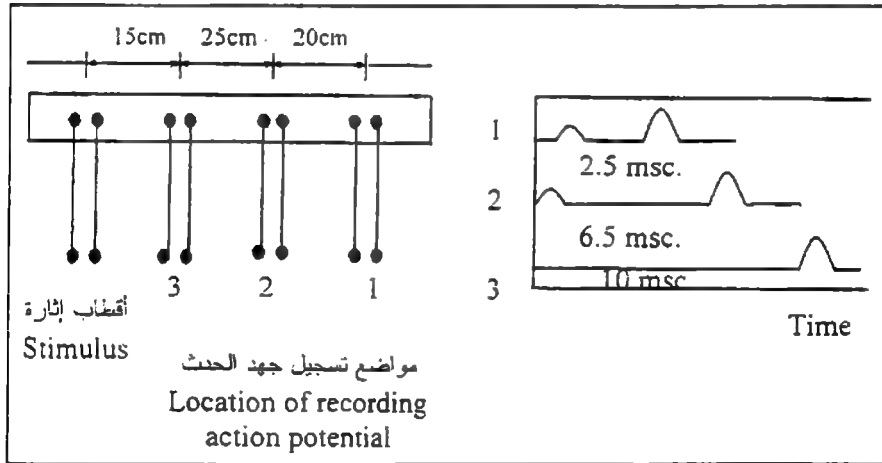


شكل (5-13)

حيث يوضح شكل النبضة (Electromyogram) (EMG) وجهد الحدث (action potential) للعضلات يعتبر وسيلة للتشخيص حيث يكون معروف شكل ومقدار الجهد لعضلة ما فى حالتها الطبيعية، ثم يعاد رسم جهد الحدث مرة أخرى لنفس

العضلة بعد أن خضعت لظروف أضرت بها ومن المقارنة يراعى الفرق فى تشخيص العلاج.

ولتعيين سرعة إنتشار جهد الحدث (velocity of propagation of action potential) يمكن إثارة الخلايا كهربيا فى موضع ثم التقاط جهد الحدث بالطريقة السابقة عند عدة مواضع معروف بعدها عن بعضها وعن موضع الإثارة، وبمعرفة الزمن المستغرق من وقت الإثارة وحتى ظهور نبضة جهد الحدث (Latency period) فإنه يمكن تعيين سرعة الانتشار هذه كما فى شكل (6-13).



شكل (6-13)

وقد وجد أن سرعة إنتشار جهد الحدث تكون فى المدى 35 - 55 متر/ ثانية وإذا قلت هذه السرعة إلى 10 متر/ ثانية فإن ذلك يدل على وجود مشكلة. وتسجيل نبضات جهد الحدث لعضلة ما (EMG) يعطى فرصة لدراسة خواص العضلة حتى نقيها الوصول إلى حد الإعياء من أداء المهمة ولا تصل بها إلى الحدود المنهكة (fatigue characteristic)، وأشد العضلات فى الجسم البشرى يمكن إثارتها كهربيا فى المدى الترددى 5-15 ذبذبة/ ثانية وقد وجد أن الأعصاب الطبيعية تتأثر قليلا بإعادة الإستثارة وخصوصا إذا كان زمن الإستثارة يزداد، إلا أن زمن الاسترخاء بين الاثارتين يخفف من ذلك.

وقد وجد أن العضلات التي تؤدي واجبها بشكل دائم ومتكرر قد تصاب بمرض ضعف العضلات (muscular weakness) بمرور الزمن وذلك يسمى وهن العضلات (myasthenia gravis)، ويمكن توقي الإصابة منه بقياس جهد الحدث (action potential) على فترات حتى إذا لوحظ تغير عن القيم الطبيعية له وصف العلاج الناجع في ضوء قراءة (EMG) وتفسيره.

النبضات الكهربائية للقلب

Electrical signals from the heart

المخطط الكهربى للقلب : The electrocardiogram (ECG)

القلب يتكون من أربعة غرف فى طابقين الطابق العلوى يحتوى الأذنين الأيسر والأيمن، والطابق السفلى البطين الأيسر والأيمن، والأذنين منضبطان synchronized لينقبضان فى وقت واحد simultaneously.

والأذين الأيمن يستقبل الدم الوريدى من الجسم ويضخه إلى البطين الأيمن الذى يضخه بدوره إلى الرئتين حيث يحمل بالأكسجين النقى ثم يعود إلى الأذين الأيسر فينقبض ليدفعه إلى البطين الأيسر الذى ينقبض ويضخه إلى الدورة الدموية فى الجسم ثم تعيده الأوردة إلى الأذين الأيمن وهكذا.

وهذا الفعل الإيقاعى (Rhythmical action) للقلب تحكمه النبضات الكهربائية التى تتولد لحظيا بإثارة stimulation خلايا عضلية خاصة موجودة فى الأذين الأيمن هذه الخلايا هى المكون الأساسى لضابط النبضات فى الأذين الأيمن (pacemaker or sinoatrial (SA) node) وضابط النبضات هذا يتقد (fire) بشكل منتظم وعلى فترات زمنية متساوية خمسة وسبعون مرة فى الدقيقة، ويمكن زيادة معدل الإنقاذ أو نقصانه بناء على طلب زيادة أو نقصان الدم بواسطة الأعصاب المتصلة بالقلب أو بناء على أية إثارة أخرى، والنبضات الكهربائية من الضباط (SA) تسبب عكس إستقطاب الأعصاب والعضلات فى كل من الأذنين الأيمن والأيسر فينقبضان وتضخان الدم إلى البطينين الأيمن والأيسر على الترتيب، ثم يعاد إستقطاب الأذنين.

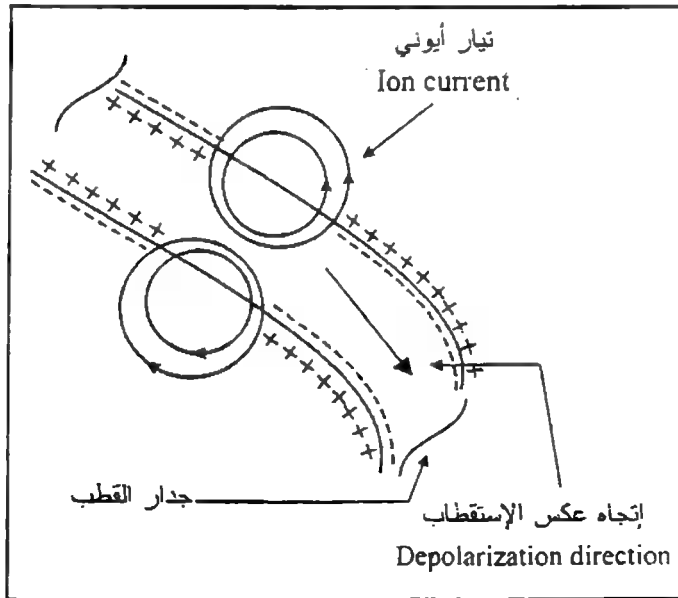
عند ذلك تصل الإشارة الكهربائية إلى ضابط عكس إستقطاب البطينين (artioventricular (AV) node) الذى يعكس إستقطاب البطينين فينقبضان ويدفع بالدم

إلى كلا من الرنتين بواسطة البطين الأيمن وإلى الدورة الرئيسية بالجسم من البطين الأيسر بعد ذلك يعاد إستقطاب البطينين إلى ما كان عليه وتكرر العملية تباعا.

ويمكن إعتبار أعصاب وعضلات القلب وكأنها مصدر للكهرباء مدفون فى موصل كهربى هو جدار القلب (torso).

والقياسات الكهربائية التى تعطى معلومات تفيد فى التشخيص لا يمكن قياسها مباشرة على عضلة القلب وإنما تقاس على نقاط مختلفة من سطح الجسم. وبذلك يقاس الجهد الكهربى المتولد بواسطة القلب ويسجل، والخريطة التى تحصل عليها من تسجيل جهد القلب من على سطح الجسم تسمى بالمخطط الكهربى للقلب (ECG) (Electrocardiogram).

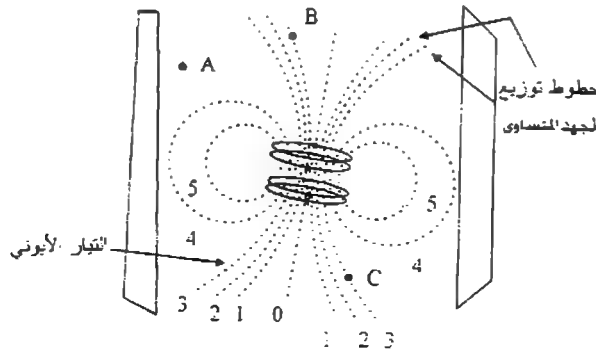
والعلاقة بين عملية الضخ (pumping) التى يقوم بها القلب والجهود الكهربائية على سطح الجسم (الجلد) تتضح فى إنتشار جهد الحدث (action potential) فى جدران القلب وذلك لكون أن التيار الكهربى السارى فى جدران القلب (torso) يعطى فرق جهد (potential drop) على مقاومة جدران القلب كما فى شكل (7-13) الذى يوضح سريان التيار الأيونى كما يوضح إتجاه عكس الاستقطاب (Depolarization).



شكل (7-13)

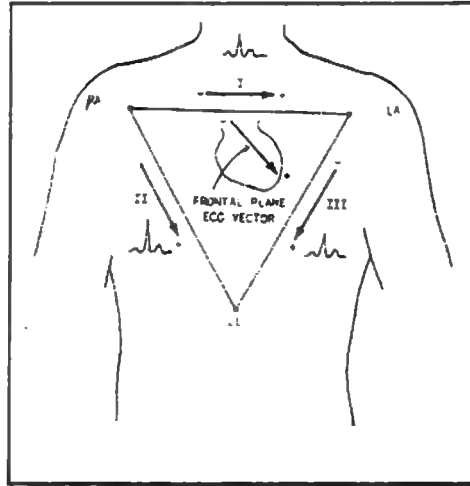
الباب الثالث عشر- الكهرباء في الجسم

والتيار الأيوني هذا هو الذى يوضح جهد الحدث حيث يمر فى جدران القلب فيعطى فرق الجهد (جهد الحدث) ومن ثم تتغير القطبية فيصبح داخل الجدار موجبة بدلا من سالبة وبذلك يتم عكس الاستقطاب ويحدث الانقباض. والتيار الأيوني السارى فى جدران القلب والمؤدى إلى عكس الاستقطاب بظهور جهد الحدث (action potential) يؤدى إلى فكرة خطوط توزيع الجهد بالتساوى (Equipotential lines) على القلب كله وذلك عندما يكون البطينين تم عكس استقطابهما بنسبة 50%، وهذه الفكرة تؤدى إلى تخيل أن القلب عبارة عن مزدوج قطبي (electric dipole) فيه (عند النسبة المذكورة) الشحنات السالبة تساوى الشحنات الموجبة وعزم المزدوج القطبي له مقدار وله اتجاه وكلاهما يختلفان من وقت إلى آخر والجهد الكهربى الذى يقاس من على سطح الجسم هو فى حقيقة مسقط عزم متجه المزدوج القطبي للقلب ونظرا لأن هذا المتجه يتغير من وقت إلى آخر فإن مسقطه يتغير وبالتالي يتغير الجهد المقاس وشكل (8-13) يوضح خطوط توزيع الجهد بالتساوى على الصدر عند لحظة عكس استقطاب البطينين 50%، حيث A، B، C مواضع الأقطاب التى تلتقط جهد الحدث حيث يكون بين B، C فى حدود 3 مللى فولت، بين A، B فى حدود 1 مللى فولت، والأقطاب السطحية المستخدمة لالتقاط جهد الحدث لتسجيل المخطط الكهربى للقلب (ECG) Electro cardiogram إعتاد الأطباء وضعها على الذراع الأيسر (LA)، والذراع الأيمن (RA) والرجل اليسرى (LL)، ويمكن تغييرها حسب الموقف الطبي لتكون أكثر قربا من القلب أو أكثر بعدا عنه.



شكل (8-13)

وقياس الجهد بين (RA)، (LA) يسمى بالطرف الأول (I) Lead وقياسه بين (RA)، (LL) يسمى بالطرف الثانى (II) Lead وبين (LA)، (LL) يسمى بالطرف الثالث (III) Lead، وتسمى الثلاثة أطراف بالأطراف القياسية The standard limb leads، والجهد المقاس بين أى طرف يعطى السعة والاتجاه النسبيين لمتجه المزدوج فى المسقط الأمامى (frontal plane) كما فى شكل (9-13) ويمكن أن تمثل بأضلاع مثلث كل ضلع يمثل طرف وفى نفس الوقت يقع عليه مسقط متجه المزدوج القطبى للقلب.



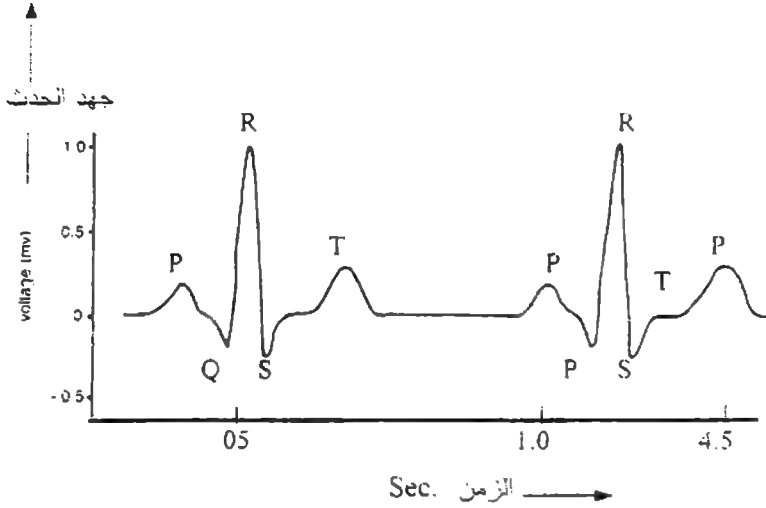
شكل (9-13)

والمخطط الكهربى للقلب الذى نحصل عليه بالطرق السابقة يوضح مسقط متجه المزدوج القطبى للقلب أو النشاطية الكهربائية للقلب (the heart of Electrical activity) والشكل (10-13) يوضح المخطط الكهربى للقلب (ECG) وعليه تظهر المعلومات الأساسية التالية:

1. تمثل الموجة P عكس الأنينين (Ortial depolarization).
2. إعادة الاستقطاب للإينينين فى الجزء من نهاية الموجة P وقبل (Q, Repolarization).

3. تمثل الموجة QRS عكس إستقطاب البطينين (موجة مركبة).

4. الموجة T إعادة إستقطاب البطينين.



شكل (10-13)

ومن تفسير المخطط (ECG) يمكن التعرف على أن إيقاع نبضات القلب منسق (Rhythmical action) أو غير منسق (arrhythmical action) وفي حالات العناية المركزة لأمراض القلب أو أثناء العمليات الجراحية يكون المخطط الكهربى للقلب (ECG) موضح بشكل دائم حتى تكون نشاطية القلب الكهربائية أمام القائم بالعلاج المكثف أو الجراح في غرفة العمليات، فإذا ما لوحظ أن نشاطية القلب تتحرف عن الطبيعى يبدأ فوراً في تصحيح المسار. وعلى سبيل المثال إذا ما لوحظ ما يفيد وجود جلطة في القلب Heart block فإن ذلك يكون معناه أن ضابط النبضات (SA node) لا تصل إشارته الكهربائية إلى البطين وعلى ذلك يكون المتحكم في نبضات القلب هو ضابط عكس إستقطاب البطين (AV node) وتلك تتم بتردد قدره من 30 إلى 50 دقة/دقيقة، وهذا يعتبر ضعيف وأقل من الطبيعى (70-80 دقة/دقيقة) وهذه الجلطة تجعل

المريض فى غيبوبة (semi-invalid) وإستخدام ضابط نبضات صناعى (implanted pacemaker) يساعده على حياة طبيعية.

النبضات الكهربائية للمخ Electrical signals from the brain

المخطط الكهربى للمخ (EEG) The Electroencephalogram

عند وضع أقطاب على فروة الرأس لتسجيل النبضات الكهربائية للمخ فإننا نحصل على نبضات ضعيفة، هذه النبضات تعبر عن النشاطية الكهربائية للخلايا العصبية (neurons) فى غطاء المخ (cortex of the brain) وقد يفسرها البعض على أن الجهود الكهربائية التى تحصل عليها فى هذه القياسات تكون محصلة عمليات عديدة متواكبة مع بعضها البعض من بينها النشاطية الكهربائية للخلايا العصبية لغطاء المخ.

وهذه النشاطية الكهربائية يعبر عنها بجهد الحدث للمخ (brain action potential) ويسمى تسجيل هذه النبضات بالمخطط الكهربى لجهد الحدث فى المخ (Electroencephalogram (EEG).

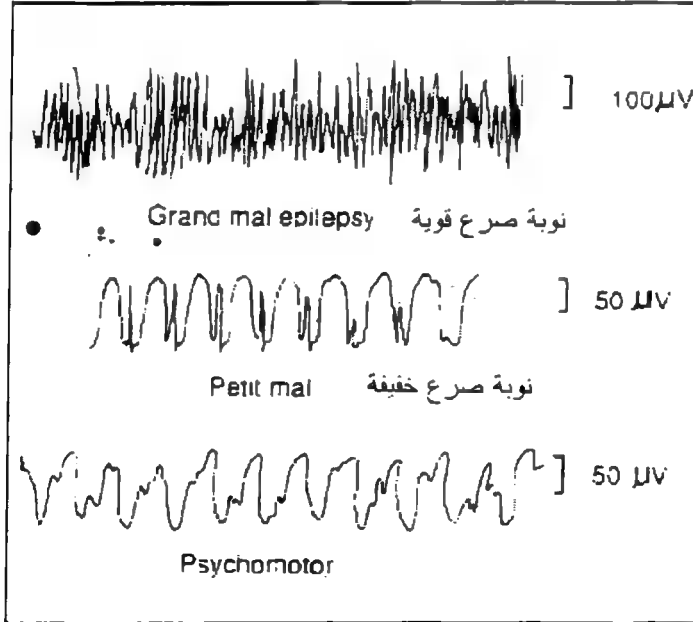
ويستخدم لذلك أقطاب توضع على الرأس فى مواضع تعتمد على الجزء المراد دراسته بالمخ، وهذه المواضع معروفة ومتفق عليهما وتسمى بنظام مواقع الأقطاب (10-20)، (International standard 10-20 system of electrode location).

أما الأقطاب المرجعية فتتصل بالأذنين، ويستخدم لذلك من 8 إلى 16 قطب للقياس فى وقت واحد، لكون عدم التماثل فى النتائج وارد فلا بد من مقارنة نتائج كل قطبين متعاكسين.

وقد وجد أن سعة الذبذبات الكهربائية الممثلة لجهد الحدث للمخ تكون منخفضة (low) (50 ميكروفولت) ويؤثر عليها النبضات الكهربائية الخارجية من المجالات المختلفة مما يجعل EEG غير نقى، وقد وجد أنه لو تم التحكم فى هذه المؤثرات الخارجية فإن نشاطية جهود عضلات أخرى مثل العضلات المحركة للعين تؤثر عليها.

الباب الثالث عشر- (الكهرباء في الجسم) ◆

وهي تعتمد أيضا على النشاط الفكرى لمخ الشخص تحت الاختبار، على سبيل المثال الشخص المسترخى EEG تكون تردد نبضات جهد الحدث فى المدى 8-13 ذبذبة فى الثانية أى هى موجات من نوع الفا (alpha wave) وعندما يكون الشخص فكره أكثر نشاطا فإن نبضات جهد الحدث عنده يكون ترددها أكثر من 13 ذبذبة/ ثانية أى هى موجات من نوع بيتا (Beta wave) ويستخدم المخطط الكهربى لجهد الحدث فى المخ (The Electroence- phalogram) (EEG) فى المساعدة على تشخيص بعض أمراض المخ، حيث يساعد فى تشخيص نوبات الصرع (epileptic seizures) وتصنيفها وقد وجد أنه عندما تكون سعة الذبذبات كبيرة وترددها عال فإن ذلك يمثل مخطط المخ الكهربى للنوبات الصرعية الشديدة (Grandneal seizure) وتظهر بشكل جهد حدث عال وسريع ويمكن أن يلتقط من أى قطب ومن أى موضع على الجمجمة. أما عندما يكون التردد قليل وسعة الذبذبة منخفض أى يكون جهد الحدث قليل وبطئ السرعة فإن النوبة الصرعية تكون ضعيفة الحدة (petit malseizure) والشكل (11-13) يوضح النوعين.



شكل (11-13)

كما وجد أن نشاطية المخ تقل في الأجزاء التي بها ورم وأن جهد الحدث في هذه الأجزاء يكون ضعيف ولذلك يستخدم EEG في التأكد من وجود ورم في المخ من عدمه. وقد استخدم EEG لدراسة مراحل النوم المختلفة، حيث وجد أنه عندما يكون الشخص نائم وأعينه مغمضة يكون تردد جهد الحدث في مدى الموجات ألفا، وتبدأ سعة النبضات تزداد ويقل التردد عندما ينتقل الشخص النائم من نوم خفيف إلى نوم عميق (light sleep to deeper sleep).

وقد وجد أنه في مراحل النوم الخفيف يكون تردد جهد الحدث كبير ويسمى نموذج مخطط المخ الكهربى (EEG) في هذه الحالة بحركة العين السريعة (paradoxical or Rapid eye movement (REM)) ويصاحب هذه المرحلة من النوم أحلام.

وبالإضافة إلى تسجيل نشاطية المخ والتي تحدث بإثارة ذاتية تؤدي إلى ظهور جهد الحدث فإن EEG يستخدم لقياس جهد الحدث الناتج من إستقبال المخ لمؤثرات خارجية مثل أثر سقوط الضوء على العين أو إشارة صوتية على الأذن. ونبضات جهد الحدث الناتج من هذه النوع من المؤثرات يسمى أثر نفخ الحياة (evoked responses) أو أثر الانتباه، وقد يحدث الأثر الخارجى ولا يؤدي إلى إنتباه الشخص حيث لا يؤدي الأثر لوجود جهد حدث وذلك من جراء التعود على المؤثر (habituation).

النبضات الكهربائية من العين

Electrical signals from the eye

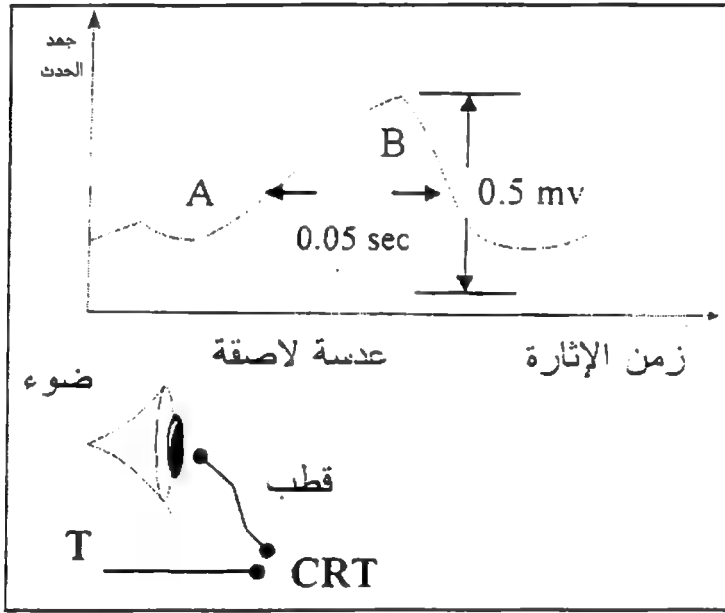
المخطط الكهربى للعين

The electroretinogram (ERG), The electro oculo gram (EOG)

عندما تثار شبكية العين بسقوط الضوء عليها فإنه يمكن تسجيل جهد الحدث في العين، ويتم ذلك بوضع قطب على عدسة لاصقة على قرنية العين ويوصل القطب

◆ الباب الثالث عشر- الكهرباء في الجسم ◆

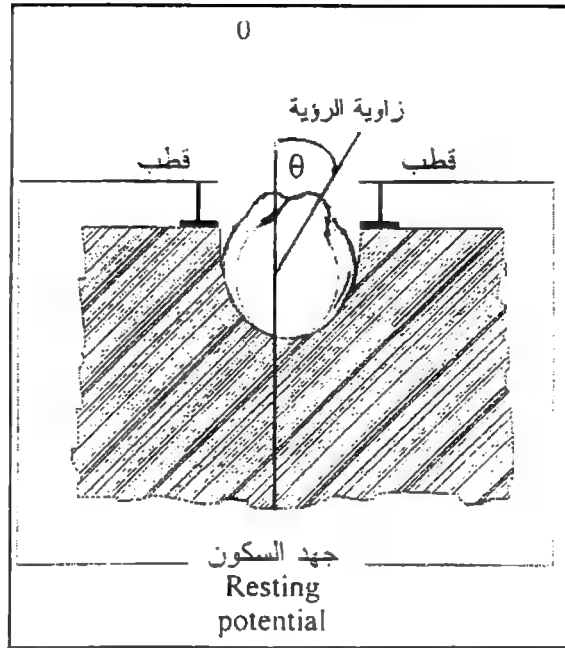
الثاني بالإذن أو خلف الرأس وبذلك يمكن تسجيل المخطط الكهربى للعين (Electroretinogram(ERG))، وهذا المخطط يكون أكثر تعقيدا من المخططات الكهربائية الأخرى حيث يكون محصلة مؤثرات كثيرة تحدث فى العين (فى السائل الزجاجى يحدث تفاعل كهروضوئى كيميائى) والشكل (12-13) يوضح (ERG) لعين طبيعية حيث تظهر الموجة B الممثلة لجهد الحدث فى الشبكية وهذه الموجة لا تظهر فى حالة الشبكية الملتهبة حيث يكون لونها داكن (pigment or retinitis pigmentosa).



شكل (12-13)

كما يمكن تسجيل جهد الحدث الناتج من حركة كرة العين حول محور محورها لمتابعة شئ فى حركة أفقية ويسمى بالمخطط الكهربى لحركة العين فى محورها (The electro oculo gram)(EOG)، ويتم ذلك بوضع كرة العين بين قطبين وإعتبار النقطة التى تنظر إليها العين فى بداية التجربة نقطة الأصل وبحسب جهد الحدث لها صفر ثم تتحرك كرة العين بشكل أفقى ويسجل جهد الحدث مع زيادة زاوية

الرؤية، وقد وجد أن هذه العلاقة خطية أى يزداد جهد الحدث بزيادة زاوية الرؤية، وهذه الدراسة تعطي فكرة على أثر الجرعة الدوائية على حركة كرة العين، كما تعطي فكرة عن تردد العين الزاوى والعجلة الزاوية لحركة العين.



شكل (13-13)

النبضات المغناطيسية من القلب والمخ

Magnetic signals from heart and brain

المخطط المغناطيسي للقلب والمخطط المغناطيسي للمخ

The magnetocardiogram & The magnetoenkephalogram (MCG & MEG)

ينشأ المجال المغناطيسي في القلب أثناء حركة الشحنات الكهربائية فى عمليتي عكس الإستقطاب وإعادة الإستقطاب، إلا أن هذا المجال حول القلب يكون ضعيف، (3×10^{-11}) تسلا (T) (10^{-4} gauss) ، ولقياس مجال ضعيف بهذا القدر لابد من مكان معزول عزلاً جيداً جداً (غرفة) وجهاز لقياس المجال عال الدقة

◆ الباب الثالث عشر- الكهرباء في الجسم ◆

(magnetometer) ويستخدم لذلك السكويد (SQUID) ويعمل بدقة عالية لكونه مصنع مادة فائقة التوصيل الكهربى (Superconducting Quantum Interference Device) ويعمل عند $5^{\circ}K$ ويقيس قيم المجال المغناطيسى المستمر والمتردد فى حدود 10^{-14} تسلا.

ويقاس المخطط المغناطيسى للقلب ((Magnetocardiogram (MCG) بوضع طرف السكويد (magnetic detector probe) المحفوظ عند درجة حرارة منخفضة على صدر المريض الموجود داخل الغرفة المعزولة عند عدة نقاط، وترسل النبضات المغناطيسية للقلب من خلال موصلات معزولة عزلا جيدا إلى محطة خارج الغرفة حيث نحصل على تسجيل لـ (MCG)، وتستغرق هذه العملية أقل من دقيقة.

والمخطط المغناطيسى للقلب (MCG) يعطى معلومات دون الحاجة إلى أقطاب تثبت على الصدر، ونظرا لأن (MCG)، (ECG) هما إنعكاس لحركة نفس الشحنات الكهربائية فإن يمكن مقارنتهما لتشابه التضاريس، والمخطط المغناطيسى للقلب (MCG) يتميز على المخطط الكهربى بأنه يسجل المجال المغناطيسى للتيار المستمر الذى يحدث فى العضلات والأنسجة الممزقة.

ويعطى مؤشر على احتمال حدوث ذبحة قلبية (Heart attack). ويستخدم السكويد (SQUID) أيضا لتسجيل المجال المغناطيسى للمخ حيث ينشأ مجر مغناطيسى حوله، ويسمى بالمخطط المغناطيسى للمخ Magneto-encephalgram (MEG) وقيمته 10^{-13} تسلا تقريبا، والمخطط المغناطيسى للمخ ناتج من تأثير التيار الكهربى المستمر وبذلك يعطى معلومات يعجز عنها (EEG).

والمجالات المغناطيسية للجسم تنشأ من حركة الشحنات الكربية أو تنشأ من وجود أجسام مغناطيسية داخل أجزاء الجسم مثل وجود بعض أثار الأسبستس المحتوى على الحديد والتي يسجلها MCG لبعض عمال المصانع العاملة فى هذا المجال.

وقد أثبت الدراسات أن الكهرباء فى الجسم البشرى تساهم فى ظواهر كثيرة وعديدة منها :

نمو العظام Bone Growth

العظام تحتوى على النسيج الضام (Colagen) وهى مادة بيزوكهربية piezoelectric وتسلك سلوك أشباه الموصلات السالبة Semiconductor n-type تحت تأثير القوة المولدة لجهد كهربى قليل أى أنها توصل التيار الكهربى بحركة الشحنات الكهربائية السالبة (الإلكترونات) من الجانب الآخر فإن البلورات المعدنية (apatite) فى العظام تكون ملتصقة بالنسيج الضام وتسلك سلوك أشباه موصلات موجبة (P-type semiconductor) أى أنها توصل التيار الكهربى بحركة الشحنات الموجبة، وعند نقطة إتصال النسيج الضام والبلورات المعدنية تتكون الوصلة الثنائية (P-n Junction) يسرى التيار بسهولة من النوع P إلى النوع n ولا يسرى فى الاتجاه المضاد وكأنه مقوم كهربائى يسمح بمرور التيار الكهربى فى إتجاه ولا يسمح بالمرور فى الاتجاه الثانى، ومن المحتمل أن القوة التى تؤثر على العظام والمنتجه للجهد الكهربى كأثر بيزو بالإضافة إلى التقويم الحادث من الوصلة الثنائية للنسيج الضام مع بلورات المعادن (P-n Junction) عاملان يعطيان تيار كهربى فى إتجاه واحد بضبط نمو العظام، (Bone growth) بمعنى أن هذا التيار يتناسب مع الاجهاد (القوة/ وحدة مساحات) ويزداد الاجهاد الميكانيكى فى العظام ويؤدى إلى زيادة نمو العظام وإستطالتها.

شفاء الأجزاء المتضررة Fracture and wound healing

عندما يتضرر جزء من الجسم بالجرح أو الكسر أو الحرق فإن تيار كهربى مستمر يظهر بالإضافة إلى التيار الأصلى فى هذه الأجزاء المتضررة ويسمى بتيار التضرر (injury current) ومن ثم يصبح الجهد الكهربى للأجزاء المتضررة أعلى من جهد المناطق المجاورة، وهذا الجهد العالى يساعد فى شفاء الجروح والكسور والحروق، وفى حالة الكسور وجد أن التيار المستمر يكون فى حدود 2 نانو أمبير

حيث يساعد على التحام العظام بسرعة مهما كانت تعاني من معدل نمو بطى (Poor growth).

وكان التيار الكهربى المستمر هذا عامل حاكم فى عملية النمو حيث أن شفاء الجروح والحروق والكسور هى فى الأصل عملية نمو.

الأتزان فى الجسم- التغذية العكسية

Homeostasis- feedback

وظائف الجسم تؤدي بانضباط بنظام الأتزان Homeostasis وهو ما يقابل فى الصناعة التغذية العكسية السلبية (Negative feedback)، وتسمى فى الجسم بالتغذية العكسية الحيوية السلبية (bionegative feedback) أو (bio feedback) وتستخدم فى الجسم لحدوث الأتزان فى متطلبات الجسم من كل ما يحتاجه، وعلى سبيل المثال : ومن الوظائف الهامة هى ضبط الكالسيوم (calcium) فى الدم، فإذا نقص مستواه فى الدم إلى حد منخفض جدا فإنه بإشارة كهربية من المخ إلى الخلايا العظمية أن خلو سبيل بعض الكالسيوم من العظام لتزيد مستواه فى الدم إلى المستوى المطلوب- وإذا حدث العكس أى زادت نسبة الكالسيوم فى الدم فإن المخ يرسل إشارة كهربية إلى الكلى لإزالة بعض الكالسيوم حتى يعود إلى مستواه الطبيعى.

وكذلك عندما يكون جسم الإنسان فى حالة نمو فإن عدد خلاياه تزداد بشكل مطرد حتى يصل إلى حجم البلوغ (adult size) عند ذلك بإشارة كهربية من المخ يظل حجم الجسم ثابت فى حدود وذلك بنظام التغذية العكسية الحيوية، إلا أنه قد يحدث فى بعض الحالات أن بعض الخلايا لا تستجيب للإشارة الكهربائية المنظمة للتغذية العكسية الحيوية وتصبح نوع من الأورام (Tumor).

وقد يلاحظ الإنسان نظام التغذية الحيوية العكسية عندما يسقط ضوء على إنسان العين بشدة عالية (High intensity light on iris) فإن الإشارة الكهربائية التى تصل من العصب البصرى (optic nerve) إلى المخ (brain) تكون كبيرة عند ذلك تصدر

إشارة كهربية من المخ إلى (إنسان العين) ليقلل قطره وبالتالي يقل الفيض الضوئي النافذ من (إنسان العين) ثم إلى الشبكية حيث تعود الإشارة الكهربائية التي تصل إلى المخ عبر العصب البصرى إلى السعة المناسبة.

والجهاز العصبى اللاإرادى يقوم بنظام التغذية العكسية الحيوية فى الجسم ويجعل كل شئ موزون بقدر فيتحقق بذلك إتران وإستقرار كل وظائف الجسم بفضل ما يرسل من المخ إلى كل أعضاء الجسم وما يصل إلى المخ من جميع أجزاء الجسم من إشارات كهربية.

الباب الرابع عشر

تطبيقات الكهرباء على الجسم

Electrical applications in the body

الباب الرابع عشر

تطبيقات الكهربية على الجسم

Electrical applications in the body

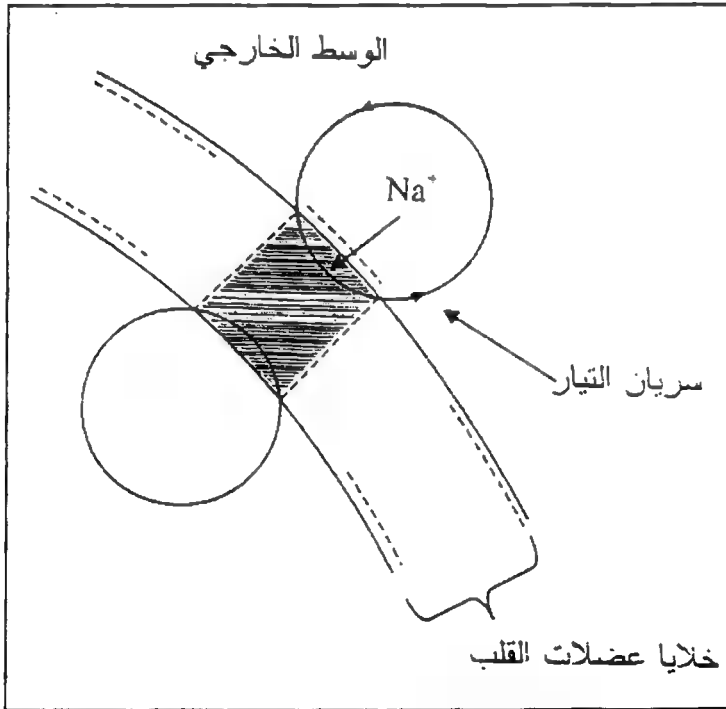
مقدمة :

مرضى القلب الآن أسعد حضاً من ذي قبل، لأن مريض القلب الآن يستظهر له مخطط القلب الكهربى (ECG) بشكل دائم على شاشة مرئية بحيث يظل تحت الملاحظة إلى أن يعود المخطط إلى نمونجه الطبيعى، وبهذه الطريقة يستطيع المعالج ملاحقة كل مهددات الحياة كلما ظهرت على الشاشة بطريقة سريعة.

الجهود الحيوية للقلب Biopotentials of the heart

حركة الأيونات إلى داخل خيوط العضلات (الخلايا) فى القلب تتسبب فى إظهار جهد الحدث (action potential)، وبذلك يحدث الإنقباض فى القلب وهذه العملية مستمرة ودائمة، وحركة الأيونات فى خلايا عضلة القلب عبارة عن سريان التيار الكهربى فيها وهذا يؤدى بدوره إلى ظهور فرق جهد فى الأنسجة خارج هذه الخلايا وعلى سطح الجسم، وبالرجوع إلى مخطط القلب الكهربى ECG يكون سريان هذا التيار حادث فقط عند إنتشار جهد الحدث من موضع إلى موضع آخر ويكون فى أظهار حالاته عند الموجة QRS أو عند الموجة T. وقد وجد أنه عند قمة الموجة QRS أى عند القمة R تكون الجهود على سطح الجسم (الصدر) فى حدود 4 مللى فولت حول القلب، وتكون واحد مللى فولت فى مواضع بعيدة عن القلب.

والأيونات التي تتحرك إلى داخل خلايا عضلات القلب هي أيونات الصوديوم Na^+ التي تدخل إلى الخلايا فيتغير إستقطابها وتصبح موجبة من الداخل وسالبة من الخارج وبذلك يحدث التيار الأيوني الذي يتسبب في ظهور جهد الحدث المؤدى إلى انقباض القلب، وبإنتقال نقطة دخول أيونات الصوديوم من موضع إلى آخر يؤدي إلى إنتقال جهد الحدث من موضع إلى آخر وبذلك ينتشر جهد الحدث على طول جدران القلب في إتجاه واحد وفي كل مرة يعكس الاستقطاب بنبضة القلب وبذلك يستمر انقباض القلب ليؤدي عمله للإبقاء على الحياة، كما أن إنتقال جهد الحدث من موضع إلى آخر يتبعه عملية إعادة الاستقطاب للموضع السابق أى يعود داخل الخلايا سالب وخارجها موجب إستعداداً لعكس الاستقطاب مرة أخرى شكل (14 - 1).

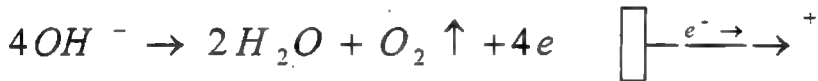


شكل (14-1)

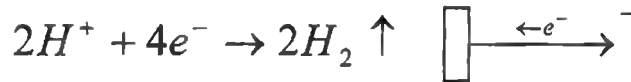
الأقطاب الكهربية Electric Electrodes

للحصول على مخطط كهربي للقلب أو المخ فلابد من أقطاب تستخدم فى نقل التيارات الكهربية من داخل الجسم إلى حيث يمكن معرفة قيمتها، إلا أن هذه الأقطاب والموصلات المتصلة بها يسرى التيار الكهربي فيها بواسطة الإلكترونات، ولذلك يحدث عند موضع الاتصال بين القطب والجسم أن يتحول التيار الأيوني إلى تيار إلكتروني من خلال تفاعل كيميائي يكون من نتائجه نبضات كهربية تؤثر على إلكترونات مادة الأقطاب ويسرى فيها التيار الكهربي المكافئ للتيار الأيوني داخل الجسم.

فإذا استخدمت المعادن المعروفة كأقطاب فإن إسقاط كهربي يحدث نتيجة التفاعل الكيميائي عند القطبين على النحو التالي:



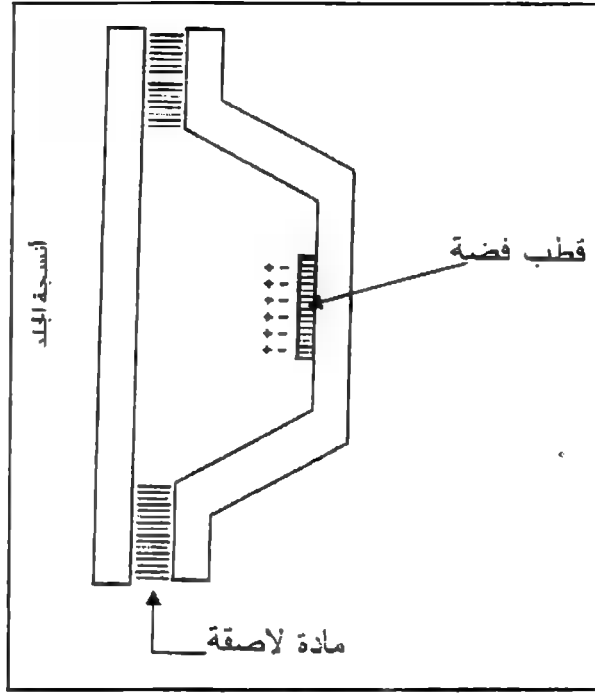
أى تعطى الماء والأكسجين الغازى وتنتقل أربعة إلكترونات يلتقطها القطب ليوصل بها الإشارة الكهربية التى تظهر فى المخطط الكهربي (مثلا ECG) ثم يعود فى القطب الثانى التفاعل التالى:



حيث ينطلق الهيدروجين. وهذه أقطاب بلاتينية تتسبب فى عمل أصوات نتيجة الذبذبات التى تحدث فيها أثناء التفاعل، وقد تؤثر هذه الذبذبات على (ECG) لذلك استبدلت بأقطاب من الفضة حيث تلاشت هذه المشكلة.

فى حالة استخدام أقطاب الفضة فإن طبقة من الشحنات المزدوجة السالبة وموجبة تتكون عند التصاق القطب الحاقن مع الجلد (solution - to- solution electrode) وهذه الطبقة من الشحنات المزدوجة تظل ثابتة مهما كانت حركة

المريض وبهذه الطريقة يتراجع عن الجلد ويلزمه مادة لاصقة موصلة، وتلك المادة منها أنواع كثيرة.



شكل (2-14)

المكبرات Amplifiers

وجد أن سعة نبضات مخطط القلب الكهربى (ECG) في حدود واحد مللى فولت. وتلك سعة صغيرة وإذا حدث بينها وبين جهود المصادر الخارجية المؤثرة على المريض تداخل قد تختفى لكون الجهود الخارجية تعطى آثار أكبر وقد وجد أن التيار التأثيرى (I) الذى يسرى فى جسم المريض من جراء مصادر الجهد العادية والموجودة فى الجدران يكون فى حدود واحد ميكرو أمبير ($1\mu A$). وهذا يؤدى إلى فرق جهد قدره 10 مللى فولت إذا كانت مقاومة أطراف التوصيل بين جسم المريض ورأس الذبذبات فى حدود 10^4 كيلو أوم ($10^4 k\Omega$) وذلك فى ضوء قانون أوم:

◆ الباب الرابع عشر- تطبيقات الكهربائية على الجسم ◆

$$|I^- = I.R. = 10^{-6} \times 10^4 = 10mv|$$

وهذه القيمة عشرة أمثال جهد الحدث (action potential) ومن ثم يكون المخطط (ECG) عديم الفائدة.

لذلك يستخدم راسم نبضات القلب المتصل بمكبر تفاضلى Differential amplifier بدلا من مكبر عادى، وهذا يؤدي إلى تقليل الجهد التأثيرى إلى قيمة قدرها 0.1 مللى فولت حيث يقاس الفرق فى الجهد التأثيرى بين نقطتين الأمر الذى يجعل المخطط الكهربى للقلب ECG معبرا تعبيرا صحيحا عن جهد الحدث الصادر عن القلب، ويتم تسجيله بعد تكبيره.

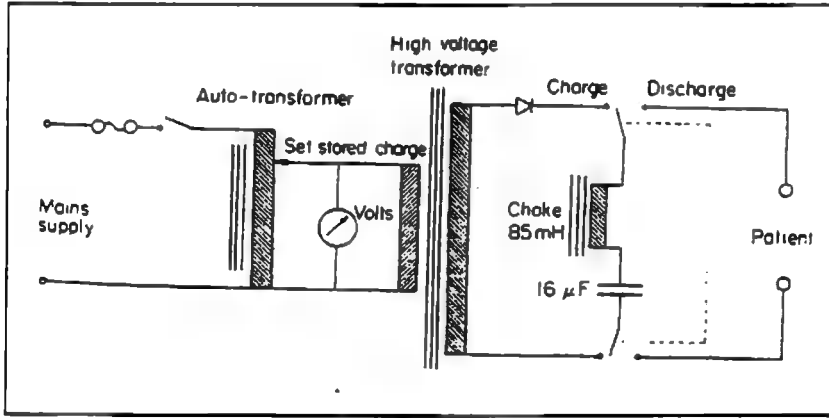
وقد وجد أن مجالا مغناطيسيا قد ينشأ حول أطراف التوصيل الموصلة بين الجسم ورسم الذبذبات المحتوى على مكبر وهذا المجال يؤثر على جهد الحدث فيقلله الأمر الذى يجعل (ECG) غير ممثل للواقع، ولذلك يلزم تنقية أثر المجال المغناطيسى التأثيرى أيضا، ووجد أن الطريق المناسب لإغائه وذلك بلف طرفى التوصيل على بعضهما البعض وهذا يلغى أثر كل لفة على اللفة التالية المعاكسة لها، والآن تصنع أطراف التوصيل فى موصل واحد ملفوفين بعضهما على بعض ولا تتفصلان إلا عند التوصيل براسم الذبذبات وعند الأقطاب على الجسم ويتم تسجيل (ECG) على أوراق عادية براسم الذبذبات الإلكترونى حيث يظهر شكل جهد الحدث على الشاشة، وقت أصبح اليوم راسم الذبذبات مزود بحاسب ليسجل (ECG) فى الذاكرة فضلا عن الشاشة وبذلك يتم طبع شريط (ECG) فى أى وقت للمعرض على الطبيب للمساعدة فى التشخيص.

منشط عضلة القلب الصدمى Defibrillators

فى حالات مرضى الذبحة القلبية يسجل (ECG) بشكل دائم حتى يتم إكتشاف أى تغير فى حالة القلب، وكثيراً ما يحدث تغير فى نسق ضربات القلب ويشعر المريض

أن قلبه ينزع من بين جنبه ويتوقف القلب عن عملية الضخ وتهدد حياة المريض إذا لم ينشط القلب بشكل صدمة كهربية سريعة.

ويتركب جهاز الصدمات الكهربائية (Defibrillators) من محول كهربى رافع حيث يكون الجهد الخارج منه آلاف المرات الجهد الداخل إليه، ويتصل الجهد الخارج منه بمقوم التيار ليحول التيار المتردد إلى تيار مستمر يمر خلال مكثف فيشحنه وعندما يتم شحن المكثف يفصل عن المقوم ويوصل بأقطاب موضوعة على الصدر مقابل طرفى القلب العلوى والسفلى ويتم تفريغ شحنة المكثف فى القلب حيث يؤدي التيار العالى (20 أمبير) إلى انقباض كل خلية فى عضلة القلب فى وقت واحد وتتكرر العملية حتى يعود القلب إلى الانقباض والانبساط بالنسق الطبيعى أو قريب من ذلك، شكل (3-14).



شكل (3-14)

منظم نبضات القلب Pacemakers

ينفصل الأذنين عن البطينين بطبقة دهنية فى القلب حيث لا توصل بينهما الكهرباء ولا تنتشر بينهما نبضات الأعصاب، إلا فى وضع واحد وهو ضابط عاكس الاستقطاب فى البطين الأيمن (AV) (atrioventricular node) فتنتقل النبضات من الأذنين إلى البطينين وذلك يمكن القلب من عملية الضخ، وإذا تضررت هذه المنطقة (node) فإن

◆ الباب الرابع عشر- تطبيقات الكهرباء على الجسم ◆

البطينين لا يصلهما أية نبضات من الأذنين، إلا أن البطينين لا يتوقفان عن الضخ حيث يوجد في البطينين مراكز بديلة تعطي النبضات في هذه الحالة، والنتيجة أن معدل ضربات القلب يكون 30 ضربة/ دقيقة، وهذا غير كافٍ ويكون المريض تحسنت هذه الظروف في غيبوبة (semi-invalid).

ولتحسين حالة المريض يوضع موقد ضربات صناعي (pacemaker) به مولد نبضات في الحدود الطبيعية 75 نبضة/ دقيقة، وعادة ما يوضع الجهاز أسفل الترقوة اليمنى ويستخدم منظار لتوصيل أطرافه بالأذنين الأيمن للقلب من خلال الأوردة.

إستخدام التيار الكهربى ذو التردد العالى فى الطب

High frequency electricity in medicine

إستخدام الترددات العالية فى التسخين يسمى العلاج بالموجات القصيرة (short-wave diathermy)، وهناك طريقتين يمكن إستخدامهما فى هذا المجال. وفى كلا الحالتين يكون الجزء من الجسم المراد علاجه جزء من دائرة كهربية للرنين، وأبسط دائرة رنين عبارة عن مكثف متصل بملف. والطاقة الكهربائية من مصدرها (power supply) تسرى ذهابا وعودة بين المكثف والملف وتعطى مجال كهربى متردد تردده فى حدود 30 مليون ذبذبة/ ثانية.

الطريقة الأولى طريقة السعة Capacitance method

يوضع الجزء المراد علاجه بين لوحى المكثف الذى بينهما مجال كهربى تردده عال وبذلك تجبر أيونات أنسجة هذا الجزء على الحركة البندولية حسب تردد المجال الكهربى الواقع عليها وبالتالي تكتسب طاقة حركة وجزء منها يتسرب فى الأنسجة عند إستخدام الأيونات بجزيئات الأنسجة على شكل حرارة، وكمية الحرارة المترسبة هذه معتمد على قيمة مربع التيار الكهربى والمقاومة الكهربائية للأنسجة تحسنت العلاج، وتسمى بتأثير جول الحرارى Joule heating ($\omega = I^2 R t$)

حيث ω طاقة الحركة I التيار الكهربى، R مقاومة الأنسجة، t زمن التعرض.

والطريقة الثانية طريقة التأثير Inductance method

وفى هذه الطريقة يوضع الجزء من الجسم المراد علاجه قريب من أو داخل الملف، حيث يتولد مجال مغناطيسى فى الملف نتيجة لمرور تيار متردد تردده عال (30 مليون ذبذبة/ ثانية) داخل نسيج الجسم فى الجزء المعنى الذى يولد بالتأثير تيارات تأثيرية Eddy currents فى الأنسجة، والطاقة المفقودة بالتيارات التأثيرية تظهر بشكل حرارة.

وكلا الطريقتين تعطيان كمية الحرارة اللازمة للعلاج بالموجات القصيرة short-wave diathermy، وهى تستخدم فى علاج الصدر والتهاب المفاصل والتهاب العضلات الناتجة من الاجهادات الزائدة، ويفضل هذا النوع من العلاج للأنسجة الداخلية. كما تستخدم الموجات الدقيقة فى العلاج (Microwave diathermy) وفى هذه الحالة لا يكون الجزء المعالج من الجسم جزء من الدائرة الكهربائية، حيث يمتص هذا الجزء ما يسقط عليه من الموجات الدقيقة، ونحصل على الموجات الدقيقة من مولد خاص يسمى بالمجنترون يعمل عند ترددات عالية (High frequency magnetron) والموجات الصادرة من المجنترون تستقبل بواسطة هوائى (antenna) الذى يعيد بثها فى إتجاه الجزء المراد علاجه من المريض.

الموجات الدقيقة عندما تسقط على أنسجة الجزء المراد علاجه بعضها يمتص وبعضها ينعكس، والجزء الممتص يرفع درجة حرارة الأنسجة بإعطائها كمية حرارة، فإذا كانت شدة الموجات الدقيقة الساقطة على الأنسجة I_0 وشدة الموجات النافذة حتى عمق x فى الأنسجة I فإن العلاقة التالية تربط العلاقة بينهما:

$$I = I_0 e^{\frac{-x}{D}}$$

حيث D سمك الأنسجة.

◆ الباب الرابع عشر- تطبيقات الكهربية على الجسم ◆

وقد أثبتت الدراسات أن عملية امتصاص الموجات الدقيقة تعتمد على كمية المياه في الأنسجة وأن كمية الحرارة المترسبة في الأنسجة تتسبب في تفاعل يحدث بين المجال الكهربى فى الموجات الدقيقة وعزم المزدوج القطبى لجزيئات المياه فى الجسم (الجزء من الجسم)، حيث أن جزئ المياه جزئ مستقطب وهناك مسافة تفصل بين مركز ثقل الشحنات الموجبة ومركز ثقل الشحنات السالبة وبذلك يكون له عزم مزدوج قطبى دائم وتكون مهمة التفاعل المذكور هو جعل محور إستقطاب جزيئات المياه موازى لمحور المجال الكهربى للموجات الدقيقة، وإلتزام ذلك فإن هناك شغل يبذل وطاقة تمتص فى الأنسجة وبذلك تسخن الأنسجة نتيجة كمية الحرارة المترسبة فى الأنسجة وكمية الحرارة هذه تعتمد على تردد الموجات الدقيقة (microwave frequency).

ونظرا لأن التفاعل الأساسى يكون من جزيئات المياه فى الأنسجة فإن كمية الحرارة المترسبة تزداد بزيادة كمية المياه فى الأنسجة وبذلك يكون تسخين الدهون ضعيف لعدم وجود مياه.

ومما يجب أن يؤخذ فى الاعتبار أن التسخين الشديد من الممكن أن يكون له أضرار وخصوصا فى الأماكن شديدة الحساسية، فالتسخين الشديد (Over-heating) قد يسبب غشاوة على عدسة العين بما نسميه المياه البيضاء (cataracts) وقد يسبب فى موضع آخر العقم (sterility)، لذلك فإن للتسخين حد أقصى لزمان التعرض وحد أقصى لكل من القدرة الكهربائية للأجهزة المستخدمة والترددات الصادرة عنها، إلا أنه من البدييات أن الموجات الكهرومغناطيسية الصادرة من أجهزة كهربية تكون طبيعة وعوامل التحكم والسلامة والأمان فيها متوفرة ومستخدمة خبراء وبذلك تكون الجرعات العلاجية مضبوطة وزمن التعرض محسوب بدقة والجزء المراد علاجه محدد مساحة وحجما. وقد إستخدمت الترددات الكهربائية العالية بالوصف السابق فى وقف النزيف وأدت إلى نتائج طبية وخصوصا عندما يكون النزيف حادث من أوعية دموية دقيقة لا يمكن ربطها إلا بالكى الكهربى (electrocautery)، ويستخدم لذلك وحدة الجراحة بالكهرباء ذات التردد العالى (electrosurgery) وهى تتكون من

المصدر متصل بقطب مساحة مقطعة كبيرة (Butt plate electrode) بذلك تكون كثافة التيار الكهربائية عليه قليلة (كثافة التيار هي التيار الكهربى فى وحدة المساحات) أما القطب الثانى فيكون بشكل قلمى (pin probe) وبذلك تكون كثافة التيار عالية جدا عنده، ويوضع الجزء المراد ربطه بين القطبين ويتحرك الطرف القلمى ويتم الربط بالكى واللحام، وقد تستخدم نفس الطريقة لقطع بعض الأنسجة التى تعاني من أورام، وعملية القطع هذه تتم بسرعة جدا كما أنه من الحكمة أن يكون الطبيب خبيراً فلا يؤثر على أنسجة مجاورة، وهذه الطريقة تصلح لعمليات فى المخ (brain) والطحال (spleen)، والمثانة (bladder) والبروستاتا (prostate) وعنق الرحم (cervix).

وإستخدام الأجهزة الكهربائية هذه يجب أن يكون بحرص كبير جداً ولابد أن نتأكد من أن الأجهزة متصلة بالأرض اتصالاً وثيقاً كما أن المبنى الذى يتم فيه العمل يجب أن يكون متصل بالأرض فى ضوء القياسات العالمية ويجب أن يتم مراجعة ذلك دورياً لإصلاح ما قد يفسد حيث أن التيار الكهربى المتسرب فى جدران الأجهزة الغير متصلة بالأرض يكون ضار جداً إلى حد أنه يكون مميت، وعلى سبيل المثال إذا إستخدمت وحدة كهربية لتسجيل مخطط القلب كهربياً وكان الاتصال الأرضى غير موجود أو فسد فإنه عند وضع الأقطاب على صدر المريض يسرى التيار المتسرب فى الجهاز إلى جسم المريض بإعتباره الطريق الوحيد الأقل مقاومة للوصول إلى الأرض وتكون العواقب وخيمة، وتكون العواقب أشد إذا كان هذا المريض يستخدم منظم نبضات القلب الصناعى حيث يكون فى صدره موصل جيد جداً لهذا التيار (التيار المتسرب) والذى يصل إلى القلب مباشرة وتكون النتائج سكتة قلبية.

إستخدام الكهرباء ذات التردد المنخفض - والمغناطيسية

Law frequency electricity and magnetism

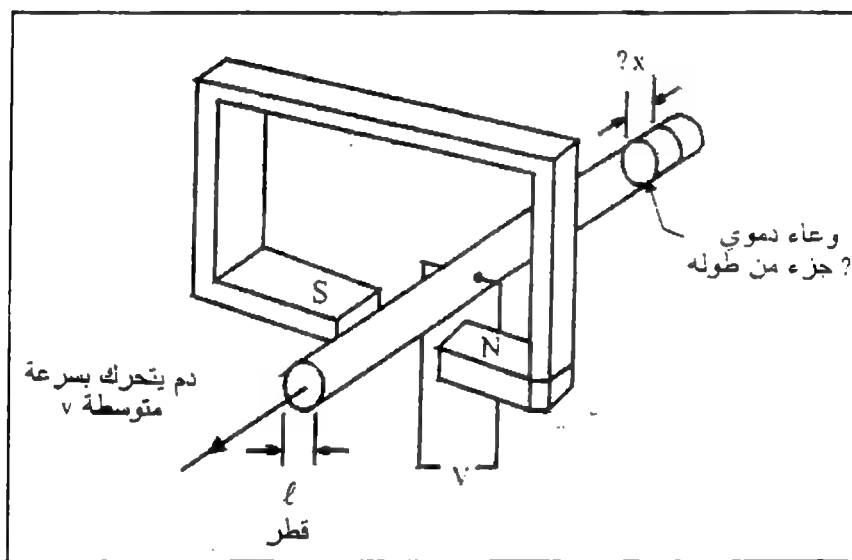
عندما يتحرك موصل كهربى بشكل عمودى على مجال مغناطيسى فإن جهداً كهربياً يظهر بالتأثير فى الموصل الكهربى، وقيمة هذا الجهد تعطى بالعلاقة:

$$V = B\ell v$$

◆ الباب الرابع عشر- تطبيقات (الكهرلية على الجسم) ◆

حيث V الجهد الناتج بالتأثير، B الحث المغناطيسي للمجال المغناطيسي، ℓ قطر الموصل الكهربى، v السرعة التى يتحرك بها الموصل عمودى على المجال المغناطيسى.

وهذا هو قانون فرادى (Farady's law)، وهذا ينطبق أيضا على الموائع (fluids) الموصلة عندما تتحرك بشكل عمودى على مجال مغناطيسى مثل الدم. والدم يسلك سلوك مائع موصل للكهرباء فإذا تحرك الدم فى وعائه بسرعة متوسطة قدرها v بين قطبى مغناطيس يعطى مجال حثه المغناطيسى B متعامد مع إتجاه حركة الدم فإن جهدا كبيرا قدره V ينتج على جانبي الوعاء الدموى الذى قطره ℓ ، شكل (3-14)



شكل (4-14)

وبذلك تكون سرعة الدم فى الوعاء.

$$v = V / \ell B$$

وبمعرفة وقياس المعاملات B ، V ، ℓ يمكن تعيين السرعة v ، كما أنه يمكن تعيين حجم الدم الذى يسرى فى الوعاء الدموى فإذا فرض أن حجمه (H) فإن :

$$H = A \cdot \Delta x$$

حيث Δx هي جزء من طول الوعاء

$$\therefore H = A \cdot v \cdot \Delta t$$

$$h = \frac{H}{\Delta t} = A \cdot v$$

حيث H هي حجم الدم السارى فى وحدة الزمن.

$$h = \pi \left(\frac{\ell}{2} \right)^2 \cdot v$$

$$= \frac{\pi}{4} \ell^2 \cdot v$$

ومعرفة كمية الدم السارية فى وحدة الزمن تساعد فى أمور كثيرة مثل تنظيم ضربات القلب وثبات درجة حرارة الجسم، وعملية التنفس والعرق وجميع الأمور الذى يتحكم فيها الجهاز العصبى اللاإرادى.

وبالرغم من أن التحكم فى الأمور السابقة لا إرادى إلا أن الحالة النفسية والعاطفية تؤثر فيها، وعلى سبيل المثال فإن الحالة النفسية لشخص ما تزيد من عرقه فى موقف ما، لتهدئ من حالته النفسية أو العاطفية.

والتغير فى حالة العرق (perspiration) هو تغير فى نشاطية الغدد العرقية (sweat gland activity) ويرجع السبب فى هذا التغير إلى مقاومة الجلد (skin resistance) وهذا التغير فى المقاومة الأساسية للجلد (Basal skin resistance (BSR)) يكون سببه نفسى (psychological) ويطلق عليه اسم الأثر الجلدى الجلفانى (Galvanic skin respins (GSR))، ونقصان مقاومة الجلد يؤدي إلى زيادة العرق أو زيادة نشاط الغدد العرقية، كما أن زيادة مقاومة

◆ الباب الرابع عشر- تطبيقات الكهربية على الجسم ◆

الجند يؤدي إلى نقصان نشاط الغدد العرقية وبالتالي نقصان العرق، وقد يؤخذ كل هذا دليل على الحياء من عدمه.

ويمكن قياس مقاومة الجلد أو GSR حيث تتواجد الغدد العرقية بكثرة مثل راحة اليد Palm، وذلك يوضع قطب على راحة اليد والقطب الآخر ظهر اليد ويسمح لتيار مستمر صغير بالمرور ثم يقرأ فوق الجهد بين الطرفين وبمعرفة التيار يمكن إيجاد مقاومة الجزء المحتوى بين القطبين فى ضوء قانون أوم وتكون المقاومة فى المدى من 20 إلى 200 كيلو أوم حيث تعتمد النتيجة على نشاطية الغدد العرقية التى تعتمد على الحالة النفسية.

بعض الأمراض العصبية قد تؤثر على نشاطية الغدد العرقية وقياس GSR يساعد على التشخيص فى العلاج.

الباب الخامس عشر

تطبيقات التسخين والتبريد في الطب

Applications of heat and cold in medicine

الباب الخامس عشر

تطبيقات التسخين والتبريد في الطب

Applications of heat and cold in medicine

مقدمة:

يستخدم الإنسان المعالجات الطبيعية (Therapeutic) منذ زمن بعيد مثل حمامات الزيوت الساخنة والماء البارد في الاستشفاء من أضرار كثيرة. كما استخدمت اليد كمجس للتعرف على حالة شخص ما إذا كان بارداً أو ساخناً. ومن المعروف أن المواد تتكون من جزيئات تعطي المادة طاقتها الداخلية وهي تدعى درجة الحرارة، وإذا أردنا زيادة درجة حرارة وسط ما فإن ذلك يتم بالتسخين. وكذلك إذا أردنا تقليل درجة حرارة المادة فإن ذلك يتم بالتبريد وتغير درجة حرارة المادة بالزيادة والنقصان هو الطريق لتغير صورتها.

قياسها درجة الحرارة

Thermometry and temperature scales

تقدير درجة حرارة وسط ما لا يتأتى مباشرة، ولكن في ضوء تغير كثير من خواص المادة بتغير درجة الحرارة لذلك تقاس الخاصية أو يقاس التغير فيها ثم يعاير ويتحول إلى درجة حرارة، ومثال ذلك تجمد الماء وغيانه فقد وجد أن كمية الحرارة اللازمة لتجمد وحدة الكتل من الماء ثابتة كما أن كمية الحرارة اللازمة لتبخير وحدة الكتل من الماء الثابتة، وقد تم التعرف عليهما ومعايرتهما ووضع مقابل كمية الحرارة

اللازمة لتجمد الماء درجة حرارة قدرها صفر درجة مئوية كما وضع مقابل كمية الحرارة اللازمة لتبخير الماء درجة حرارة قدرها 100°م وسمى التدرج بين الصفر والمائة بالتدرج المئوي، وإستخدم لقياس درجة حرارة المواد والأوساط في هذا المدى بعد إستكماله، وقد أدى ذلك لمعرفة أن درجة حرارة الجسم البشري ثابتة وقيمتها $36.5^{\circ}\text{م} - 37.5^{\circ}\text{م}$.

كما توجد تدرجات أخرى مثل التدرج المطلق وهو يمتد من $273 -$ إلى 373 وتقابل فيه درجة مائة على التدرج المئوي درجة 373 ويقابل الصفر المئوي درجة 273 وكل درجة عليه تسمى واحد كلفن ودرجة $273 -$ تسمى بدرجة الصفر المطلق، ويستخدم هذا التدرج في الأبحاث العلمية.

وقد إستخدم لقياس درجة الحرارة ترمومترات تُصنع من الزجاج بها سوائل مثل الكحول أو الزئبق، وتعمل هذه الترمومترات في ضوء فكرة أن المواد المختلفة إذا تأثرت بالحرارة أو البرودة يحدث تغير في أبعادها بالتمدد أو الانكماش ولكن بنسب مختلفة تعتمد على نوع المادة، وتمدد السوائل يكون أكبر من تمدد المواد الصلبة، أي أن سائل الترمومتر يتمدد في داخله بقدر أكبر من الترمومتر نفسه وبذلك يكون تمدد السائل شاهد على تغير درجة الحرارة، فقد وجد أن خيط رفيع جداً من الزئبق داخل قناة شعيرية من الزجاج إذا رُفعت درجة حرارته من صفر إلى مئة فإن 1 سم^3 يتمدد بمقدار 108% ، وتزداد حساسية الترمومتر كلما كان خيط الزئبق رفيع جداً، كما أن سطح الترمومتر يعمل كعدسة لامة فيسهل قراءة الترمومتر وتكون خلفية الترمومتر بيضاء ليرى الزئبق بوضوح.

ومن أهم خواص الترمومتر أنه يسجل درجة حرارة الوسط بأسرع ما يمكن وبناء على ذلك فإن الترمومتر العادي لا يناسب قياس وقراءة درجة حرارة جسم الإنسان لذلك صُنِعَ ترمومتر خاص مزود باختناق يعمل على ثبات درجة الحرارة المأخوذة من تحت لسان المريض حتى تقرأ ثم يعود الزئبق إلى مستودع الترمومتر بالأهتزاز.

◆ (الباب الخامس عشر- تطبيقات (التسخين والتبريد في الطب ◆

وتستخدم أجهزة أخرى لقياس درجة الحرارة للجسم بطريقة أكثر حساسية مثل ثرمومتر المقاومة (Thermistor) وهي عبارة عن مقاومة من مادة حساسة تتغير مقاومتها بتغير درجة حرارة الوسط الذي توضع فيه ثم يتم معايرة هذا التغير بدلالة درجة الحرارة ويستخدم لذلك دوائر كهربائية بسيطة وغير معقدة يكون فوائدها قياس درجة الحرارة بشكل سريع ودقيق وعادة تكون الدائرة الكهربائية في مكان ثابت والطرف الخاص بقياس درجة الحرارة منها هو الذي يصل إلى المريض حيث يوضع في الموضع المطلوب ثم تقرأ درجة الحرارة، ويستخدم ثرمومتر من هذا النوع للتعرف على عملية انتظام التنفس بوضع الثرمومتر في أنف المريض لتعيين درجة الحرارة الشهيق ودرجة حرارة الزفير وتعين الفرق بينهما.

كما أن ثرمومتر الأزواج الحراري الذي يتكون من وصليتين إحداهما توضع في وسط درجة حرارته ثابتة (صفر للتج) والأخرى في الموضع المراد قياس درجة حرارته حيث ينتج فرق جهد بين الطرفين البارد والساخن، ويعاير هذا الفرق في الجهد ليعطى درجة الحرارة مباشرة وتقاس به درجة الحرارة أو التغير فيها بدقة.

المخطط الحراري لدرجة حرارة الجسم

Mapping the body's temperature - Thermography

جميع الأجسام تشع إشعاعاً حرارياً بغض النظر عن درجة حرارتها، فإذا كانت درجة الحرارة عالية وكان الإشعاع في الجزء المرئي فإنه يرى بالعين المجردة (المادة ساخنة حمراء متوهجة)، وإذا كان الإشعاع في الجزء غير المرئي من الأشعة تحت الحمراء فإنه لا يرى، وتعطى قدرة الإشعاع المنبعث في وحدة المساحات من أي جسم بقانون ستيفان - بولتزمان (Stefan-Boltzmann) بالعلاقة:

$$P = e\sigma T^4$$

حيث T درجة الحرارة المطلقة، e الانبعاثية (Emissivity) $=1$ ، σ ثابت بلترمان وقيمته $5.7 \times 10^{-12} \text{ w/cm}^2 \cdot \text{k}$.

وفى ضوء انبعاث الأشعة الحرارية من الجسم فقد قيست درجة حرارة سطح جلد الإنسان ووجد أنها تختلف من نقطة إلى أخرى حيث أنها تعتمد على عوامل بعضها متصل بالبيئة المحيطة وبعضها الآخر متصل بعوامل داخلية مثل معدل البناء metabolic rate ، أثر الدورة الدموية بالقرب من سطح الجلد ومعدل تبخير العرق وذلك فى حالة سكون الجسم الصحيح العادى.

فإذا ما تغيرت الظروف الصحية وقيست درجة حرارة الجسم فى موضع ما فإن الاختلاف يساعد فى تشخيص ظاهرة مرضية.

وقد وجد أن السرطان يؤدي إلى رفع درجة حرارة المنطقة المتأثرة به، ففى حالة سرطان الثدي ترتفع درجة حرارة الجزء المتأثر به بمقدار درجة واحدة.

والأجهزة المستخدمة فى رسم المخطط الحرارى لدرجة الحرارة فى الجسم تعتمد فكرتها على إسقاط أشعة حرارية صادرة من جسم المريض من مساحة صغيرة من الجسم (فى حدود 5 مم قطر) على مرآة فتعكسه بشكل مستمر على مقطع chopper حيث يحوله إلى نبضات (تردد) فيسهل تكبيره بعد إزالة الجزء المرئى منه بواسطة مصفاة (Filter) ثم تتحول الأشعة الحرارية (IR) إلى إشارة كهربية تتناسب شدتها مع درجة حرارة سطح الجسم فى الجزء الذى أتت منه الأشعة، ويتغير إتجاه المرآة يمكن عمل مخطط كامل لدرجات حرارة الجسم، ويمكن أن ترى موضع الجزء القادم منه الإشعاع وتقدر قيمة الإشعاع على شاشة تلفزيونية للجهاز راسم الذبذبات (CRT)، ويمكن تحديد المناطق الساخنة والأسخن والباردة والأبرد فى الجسم على الشاشة. كما أن هذه الصور تصور وتسجل وترسل إلى موضع الاحتياج للتشخيص.

◆ (الباب الخامس عشر- تطبيقات (التسخين) والتبريد في الطب) ◆

ومن الأمثلة سجلت حالات مرضية بناء على اختلاف درجات الحرارة الأتي:

- وجد فرق في درجة حرارة أحد الذراعين عن الآخر وأثبت التدخل الطبي الجراحي أن الذراع الأسخن كانت تعاني من ورم أو لزيادة سرعة دوران الدم فارتفعت درجة حرارته.
- وجد فرق في درجة حرارة نصف الرأس الأيمن عن نصف الرأس الأيسر وذلك لوجود مشكلة في الدورة الدموية للرأس وعولجت وبرأت.
- كما أنه في حالات مرض السكر ساعد المخطط الحراري للجسم على الاكتشاف المبكر للمواضع التي درجة حرارتها مرتفعة والتي كان يحتمل أن يتكون فيها دمامل وخراريج تؤدي إلى تفجرها وسرعة العدوى والإصابة بالغرغرينا، قلّت بذلك عمليات قطع الأطراف حيث تمت الوقاية وتشخيص العلاج اللازم بواسطة الطبيب.

العلاج بالتسخين Heat therapy :

كنوع من العلاج الطبيعي (Therapeutic) إذا سخن جزء من الجسم فإن ذلك يؤدي إلى حدوث أمرين إثنين :

1. يزداد نشاط معدل البناء (metabolism) نظراً لتوسيع الأوعية الدموية (vasodilatation).

2. يزداد توارد الدم إلى المنطقة لتبريدها.

والعمليتين متلازمتين للأنسجة المتأثرة.

ويمكن تسخين أعضاء الجسم بإحدى الطرق الآتية:

1. التسخين عن طريق التوصيل (conductive heating):

بنيت فكرة التسخين بالتوصيل على حقيقة أنه إذا تلامس جسمين درجة حرارتهما مختلفتين فإن الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد حتى تتساوى درجة حرارتهما، وتعتمد كمية الحرارة المنتقلة من جسم إلى آخر على :

1. مساحة التلاصق.

2. الفرق في درجة الحرارة بين الجسمين.

3. زمن التلاصق.

4. معامل التوصيل الحرارى للمادتين.

ومن ثم تستخدم الحمامات الساخنة (Hot baths) والصفيرة الساخنة (Hot packs) والمخدرات الكهربائية الساخنة (pads) لتسخين أجزاء الجسم بالتوصيل عبر الجلد. لعلاج التهاب الأعصاب (neuritis) والكدمات (contusions) والالتهابات الجلدية (erythema) وآلام المفاصل (sprains) وآلام الظهر (back pain) تحت الإشراف الطبي.

2. التسخين عن طريق التشعيع (Radiant heat) :

نشعر بالتسخين بالإشعاع من أثر الشمس أو من مدفأة أو من أى مصدر حرارى ويسمى بالإشعاع الحرارى أو الأشعة تحت الحمراء وهذه الموجات تخترق الجلد وتصل إلى 3 سم وتتسبب فى إرتفاع درجة حرارته والتعرض المفرط لها يسبب إحمرار الجلد وإلتهابه (erythema) كما يتسبب فى دكانة الجلد وتصلبه، ويستخدم التسخين عن طريق التشعيع فى علاج الحالات التى تعالج بالتسخين عن طريق التوصيل إلا أن الإشعاع يكون تأثيره أكبر نظرا لأن التسخين يكون على عمق أكبر.

كما أن التسخين عن طريق التيار الكهربى المتردد يعطى نفس الأثر وكذلك طريقة الصدمات الكهربائية ويزداد الأثر بزيادة التردد ويكون التسخين بهذه الطريقة (Diathermy) على أعماق أكبر من التسخين بالتوصيل والتسخين بالإشعاع ولذلك يستخدم فى علاج إلتهابات الهيكل العظمى والصدر والأعصاب.

وفى جميع الحالات التى يعالج بها الجسم أو أجزاءه بالتيار الكهربى بإستخدام الموجات الكهرومغناطيسية (short-wave diathermy) فإن الجزء المعنى بوضع

◆ (الباب الخامس عشر- تطبيقات (التسخين والتبريد في الطب) ◆

بين قطبين معدنيين واقع عليها فرق جهد تردد عال (موجات قصيرة) وبذلك تتعامل الأنسجة بين القطبين وكأنها محلول إلكتروليتي (electrolytic solution) ونظراً لأن التردد عال فإن الحركة البندولية للشحنات الكهربائية بين القطبين تؤدي إلى تسخين الجزء المعالج والطبيب يحدد الجرعة اللازمة من حيث التردد وزمن التعرض وعند المرات.

ويستخدم التيار الكهربائي لتوليد مجال مغناطيسي يُستغل فيضيه في العلاج ويسمى العلاج بالتيار التآثيري (Induction diathermy) ويستخدم لذلك ملف يُلف حول الجزء المراد علاجه أو مغناطيس دائري رقيق pancake يوضع قريباً من الجزء المراد علاجه حيث يتم تسخين الجزء بالفيض المغناطيسي للمجال الناتج.

ويستخدم هذا الفيض في علاج تقلص العضلات (muscle spasms) ويقلل من آلام فقرات العمود الفقري والقفص الصدري (bursitis) نظراً لأن الحرارة الناتجة تصل إلى أعماق كبيرة فإنه يستخدم في علاج روابط المفاصل (joints) مثل الركبة (knee) والكوع (elbow) ومؤخرة القدم (ankle).

كما تستخدم الموجات الميكرونية (microwave diathermy) كوسيلة أسرع وأسهل في العلاج حيث تكون طاقة هذه الموجات أكبر ويكون التسخين أنجح ويحصل عليها من مصدر خاص يسمى مجنترن (magnetron) حيث يتصل بالجهاز ما يشبه الهوائي (antenna) على شكل قضيب أو مروود (applicator) يُمنّل منفذ لخروج الموجات الميكرونية، ويوضع هذا المنفذ على بعد مناسب يحدده الطبيب من الجزء المراد علاجه بالتسخين، وهذه الطريقة مناسبة لعلاج الكسور (fractures) وفي المفاصل (sprains) والتوتر (sprains) وتمزق الروابط (injuries tendons) والتهاب المفاصل (arthritis).

والموجات فوق الصوتية (ultrasonic waves) (تردها فوق 20 ألف/ ثانية) تستخدم في تسخين الأجزاء المراد علاجها (ultrasonic diathermy) حيث يلتصق مصدرها بالجسم مباشرة، وتستخدم الحرارة الناتجة من الحركة الترددية للموجات

الفوق صوتية فى علاج التيبس (tightness) وخشونة المفاصل (scarring) ونظراً لأن العظام تمتصها بشكل أكبر من الأنسجة فإنها تساعد على تقليل آلام العظام.

وقد وجد أن العلاج بالتسخين (Heat – Therapy) من الممكن أن يكون مفيد فى علاج السرطان عندما يتحد مع العلاج الإشعاعى (Radiation therapy) حيث يسخن الورم حتى 42 م لمدة 25 دقيقة ثم يعرض بعد ذلك للجرعة الإشعاعية.

إستخدام التبريد فى الطب Use of cold in medicine :

ساعدت صناعة إسالة الغازات فى الحصول على هواء سائل (-196°C) وهليوم سائل (-269°C) كما ساعدت عملية تخزين سوائل التبريد (cryogenic fluids) فى الآلية المخصصة لذلك والتي صممها جيمس ديوار (Dewar Jams) على تخزين هذه السوائل ونقلها بشكل آمن الأمر الذى مكن من إستخدامها فى الطب (cryogenic in medicine) كما يلى :

1. يخزن الدم بشكل طبقات رقيقة جداً فى إناء مصنع على شكل جدارين من معدن رقيق بينها فراغ ضيق يشغله الدم وبذلك يكون سمك الدم قليل ومساحة سطحه كبيرة فإذا ما وضع فى حمام من النيتروجين السائل (-196°M) تجمد ويمكن الاحتفاظ به فترات طويلة.

2. يذرى الدم (blood is sprayed) فى النيتروجين السائل فيتجمد على شكل قطرات صغيرة (small droplets) حيث تكون القطرات فى حجم حبة الرمل ثم تجمع هذه الكريات الدموية وتحفظ فى إناء عند درجة (-196°M) وتسمى هذه الطريقة بطريقة رمال الدم (blood – sand).

وكان الدم يحفظ فيما سبق بطريقة نمطية عند درجة (-4°M) بعد إضافة مادة مانعة للتجلط (anticoagulant)، وقد وجد أن ذلك يسبب تكسير نسبة 1% يومياً من كرات الدم الحمراء وبذلك يصبح الدم غير صالح للإستخدام بعد 21 يوماً، ومن

◆ (الباب الخامس عشر- تطبيقات (التسخين والتبريد في الطب) ◆

الطبيعى أن ذلك لا يمثل مشكلة للأنواع شائعة الاستخدام من الدم حيث أنها تستخدم فى المدة المذكورة، إلا أن الأنواع النادرة الطلب لا يناسبها الحفظ بهذه الطريقة لأنها تحتاج حفظ لفترة طويلة.

وحفظ الدم بجميع الطرق أسهل وأيسر من حفظ الأعضاء للأسباب الآتية:

1. نظرا لكبر حجم وكتلة الأعضاء فإن معدلات التبريد المتجانس غير كافية وغير واقية بالسرعة المطلوبة.

2. إضافة المواد الحافظة يكون صعب وقد يكون لها آثار سلبية.

العمليات الجراحية أثناء التبريد (cryosurgery):

للجراحة أثناء التبريد (cryosurgery) مميزات:

1. تقليل النزيف.

2. التحكم فى الأنسجة النالفة بحيث تكون أقل ما يمكن.

3. الإحساس بالألم قليل حيث التبريد (desensitize).

وقد استخدمت الجراحة بالتبريد فى علاج الشلل الرعاشى (shaking plays or Parkinson's) حيث أن له علاقة ببعض العقد العصبية فى المخ، ويتسبب هذا المرض فى حركة غير إرادية لكل من الأذرع والأرجل.

ويعالجون الشلل الرعاشى (Parkinson's) حتى تتوقف الحركات اللاإرادية للأطراف بالتأثير على قاعدة المركز البصرى (thalamus) حيث أنه يتحكم فى نقل الإشارات العصبية إلى باقى الجهاز العصبى، وذلك باستخدام آلة خاصة (cryoknife) تستخدم فى الجراحات بالتبريد.

وفى هذه الطريقة يبرد طرق آلة الجراحة إلى درجة حرارة منخفضة (-10) °م ثم يضغط بها على الجزء المعنى من قاعدة المركز البصرى (Thalamus) فيتجمد

هذا الجزء نتیجة الكى بالتبرید، وزمن الكى یعتمد على متى تتوقف رعشة أطراف المريض.

وبذلك تتم العملية ثم تسخن أداة الكى وتستخرج وتزال من موضع العملية، وزمن العملية والنقاہة والشفاء فى هذه العملية قصیر جداً بالنسبة لعمليات المخ.

وتستخدم الجراحة بالتبرید لإزالة الأورام والنتونات، كما تستخدم فى جراحة العیون وخصوصاً الانفصال الشبکى (detached retina) وتغیر العدسات المعلقة فى العین (cataract surgery) وذلك بلمس الطرف البارد لعدسة العین فتلتصق به وتخرج معه ثم توضع العدسة البديلة.

الباب الساوس عشر

حساب الطاقة والشغل والقدرة في الجسم

Calculation of energy, work, and power of the body

الباب الساس عشر

حساب الطاقة والشغل والقدرة فى الجسم

Calculation of Energy, work, and power of the body

مقدمة :

للطاقة أهمية خاصة فى جسم الإنسان وكل الأنشطة التى يقوم بها الجسم يستهلك جزء من هذه الطاقة وبذلك تعتبر طاقة الجسم عملية دائمة ومستمرة، وفى حالة سكون الجسم (حالة عادية) (basal condition) يحدث تغير فى طاقة الجسم بما يساوى 25% بسبب حركات الجهاز العظمى والعضلات المحركة له وعضلة القلب، ويحدث تغير فى هذه الطاقة بمقدار 19% فى المخ (brain) فى إعمال الفكر وإدارة شئون الجسم نفسه فى القضايا الإرادية واللاإرادية، كما يحدث تغير قده 10% لإتمام الكلى ووظيفتها وتنفيذ هذه الطاقة بمقدار 27% لإتمام كل من الكبد والطحال وظيفتهما.

ومصدر طاقة الجسم والوقود المنشأ لها هو الطعام، الطعام ليس فى صورة مناسبة للتحويل إلى طاقة، وفى ضوء ذلك لابد من معالجة الطعام كيميائياً بواسطة الجسم لإعداد جزيئات ممكن أن تتحد مع الأكسجين فى خلايا الجسم، ومن وجهة النظر الفيزيائية فإن الجسم يُعتبر آلة تحول الطعام إلى طاقة تخدم أغراض الجسم (The body is an energy converter) ومن ثم تخضع هذه العملية لقانون بقاء الطاقة.

ويستخدم الجسم طاقة الطعام لتشغيل أعضائه المختلفة، ولتثبيت درجة حرارته ويؤدى ما يعن له من أعمال خارجية، كما يستخدم جزء صغيراً جداً من هذه الطاقة فى الإخراجات المختلفة 5% من الطاقة يستخدم فى البراز، التبول، وما يتبقى بعد ذلك من

الطاقة يخزن في الجسم على هيئة دهون (fats) وإذا اكتسب الجسم طاقة أخرى عن طريق الإشعاع مثلاً من الشمس أثناء الحركة أو من أى مصدر آخر فإن هذا الجزء المكتسب من الطاقة يساعد فقط في تثبيت درجة حرارة الجسم أو يساعد في إرتفاع أو تقليل درجة حرارة الجلد لكن لا يؤثر بأى شكل من الأشكال في أداء أعضاء الجسم وظائفها ومهامها.

قانون بقاء الطاقة في الجسم (conservation of energy in the body):

تمثل العلاقة التالية قانون الطاقة في الجسم:

$$(change\ in\ stored\ energy) = (Heat\ lost) + (Work\ done)$$

in the body

from the body

$$(التغير\ فى\ الطاقة\ المخزونة) = (الحرارة\ المفقودة) + (الشغل\ المبذول)$$

من الجسم

فى الجسم

وهذا هو القانون الأول للديناميكا الحرارية (لاحظ أنه أثناء تطبيق القانون يفترض أنه لا يدخل الجسم طعام ولا شراب كما لا يخرج الجسم أى نوع من الإخراجات). ولكن طاقة الجسم تتغير بشكل دائم سواء أدى الجسم عمل خارجى أو لم يؤدي. ويمكن كتابة القانون الثانى الديناميكا فى صورة التالية:

$$\Delta E = \Delta Q - \Delta w \quad (1)$$

حيث ΔE هو التغير فى طاقة الجسم الداخلية، ΔQ هى كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة بالجسم، Δw هو الشغل المبذول بواسطة الجسم فى زمن معين. وفى حالة سكون الجسم $\Delta w = 0$ ، وعند ثبوت درجة الحرارة فإن الجسم يفقد حرارة إلى الوسط وتكون ΔQ سالبة ومن ثم تكون Δw أيضاً سالبة وهذا يدل على أن الجسم يقلل طاقته المخزونة.

◆ (الباب السادس عشر- حساب الطاقة والقدرة والشغل في الجسم) ◆

فإذا كان التغير في كل من طاقة الجسم الداخليه ΔE ، والمفقود أو المكتسب من كمية الحرارة ΔQ والشغل المبذول بالجسم Δw حدث في فترة زمنية قدرها Δt فإن المعادلة رقم 1 تكتب على الصورة :

$$\Delta E / \Delta t = \Delta Q / \Delta t - \Delta w / \Delta t \quad (2)$$

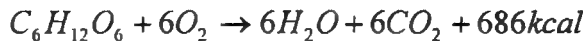
حيث $\Delta E / \Delta t$ هي معدل تغير الطاقة المخزونة في الجسم ، $\Delta Q / \Delta t$ هو معدل فقدان أو اكتساب الحرارة ، $\Delta w / \Delta t$ هو معدل بذل الشغل بالجسم أو قدرة الجسم الميكانيكية.

تغير الطاقة في الجسم Energy changes in the body

من المشاهدات العملية ظن الباحثون أن زيادة استهلاك الأكسجين أثناء عملية الهضم يكون بسبب الشغل المبذول في عملية الهضم نفسها، وقد ثبت خطأ هذا الفهم لأنه وجد أن عملية الاحتراق تتم في الخلية وتتم الأكسدة الأمر الذي يزيد من استهلاك الأكسجين.

وفي عملية الاحتراق أثناء الأكسدة تنطلق كمية الطاقة الحرارية وتستغل هذه الطاقة في عملية البناء (Energy of metabolism) ويسمى معدل الأكسدة بمعدل البناء (The metabolic rate).

وعلى سبيل المثال السكر المعروف بالجلوكوز ($glucose C_6H_{12}O_6$) والذي يتغذى به المرضى عن طريق الحقن في الوريد (Intravenous) يمكن فهم كيف يؤكسد من خلال المعادلة التالية:



أي أن واحد جزئ جرامي (1 mole) من الجلوكوز (180g) يتحد مع ستة جزيئات جرامية من الأكسجين (192g) لتعطي ستة جزيئات جرامية من كل من الماء

H_2O (108g) وثانى أكسيد الكربون (264g) ويتولد بالإضافة إلى ذلك 686 كيلو كالورى من الطاقة الحرارية.

أى أن الطاقة الحرارية المتولدة من جرام واحد من الجلوكوز (الطعام أو الوقود):

$$= \frac{686}{180} = 3.8 \text{ كيلو كالورى.}$$

والطاقة المتولدة بإستخدام لتر واحد من الأكسجين = $\frac{686}{224 \times 6} = 5.1$ كيلو كالورى.

كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة واحد جرام جزئى من الجلوكوز $= \frac{22.4 \times 6}{180} = 0.75$ لتر.

كمية ثانى أكسيد الكربون الناتجة من إحتراق جرام جزئى واحد من الجلوكوز = 0.75 لتر.

ونسبة ثانى أكسيد الكربون إلى الأكسجين الناتج من التفاعل = 1 وتسمى المقدرة التنفسية ((Respiratory quotient (R)).

ومن الممكن عمل حسابات مماثلة لكل من:

الدهون Fats، البروتينات Proteins، الكربوهيدرات كما فى الجدول التالى:

الطعام والوقود Food or fuel	الطاقة المتولدة عن لتر أكسجين O_2 released per Liter used K. Cal O_2 كيلو كالورى/ لتر.	Caloric Value المتولدة كيلو كالورى/ جرام Kcal/g
كربوهيدرات Carbohydrates	5.3	4.1
بروتينات Proteins	4.3	4.1
دهون Fats	4.7	9.3

◆ الباب (الساوس عشر- حساب الطاقة والقدرة والشغل في الجسم) ◆

لاحظ أن:

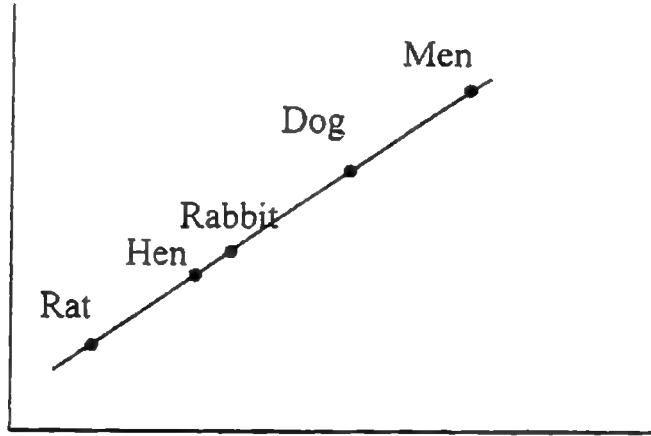
كل جزئ جرامى من الغاز عند معدل الضغط ودرجة الحرارة حجمها 22.4 لتر كما يجب أن نلاحظ أن الطاقة المتولدة تكون أقل من القيم المذكورة لأن جزء من هذه الطاقة ينطلق فى عملية الاحتراق غير التام، والمواد الغير محترقة (unburned) والناجمة من الجسم هى البراز (feces)، البول (urine)، الغازات (flatus) والباقي هى طاقة البناء (metabolic energy).

وتقاس طاقة الطعام بوحدة كيلو كالورى (Kilocalories (K.Cal))، وبحسب معدل الحرارة الناتجة بوحدة كيلو كالورى/ دقيقة Kilocalories/ min، إلا أن خبراء الأغذية يحسبون طاقة الغذاء (Food energy) بوحدة الكالورى بمعنى كيلو كالورى أى إذا قيل 2500 كالورى/ يوم فإن المعنى المقصود هو 2500 كيلو كالورى/ يوم، ولا ضير فى استخدام الوحدات المعروفة فى النظام (mks) أو (CGS) لحساب الطاقة أو القدرة المتولدة عن إحتراق الغذاء هذا وبحسب القدر المستهلك من الطاقة بوحدة (مت met) وعلاقة مت بالكورى هى:

$$1\text{met} = 50\text{kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$$

ويكون إستهلاك الفرد العادى فى حالة السكون من الطاقة q_2 كيلو كالورى/ ساعة أو 107 وات أى فى حدود واحد مت (1 met) وهذا هو أقل معدل فى إستهلاك الطاقة ويسمى معدل البناء الأساسى (Basal metabolic rate (BMR) وهو القدر الأدنى من الطاقة ليوذى الجسم وظائفه (مثل التنفس وضخ الدم فى الشرايين)، ويزداد معدل البناء الأساسى فى الجسم وينقص فى ضوء نشاط الغدة الدرقية (Thyroid function) أى أن الجسم الذى به غدة درقية نشطة يكون معدل الأساس (BMR) أعلى من جسم آخر فيه غدة درقية نشاطها عادى. ويعتمد معدل البناء الأساسى (BMR) على مساحة سطح الجسم أو كتلته حتى يظهر بشكل حرارة ويفقد من الجلد.

والشكل يوضح العلاقة بين BMR وكتلة الجسم فى شكل (1-16) لحيوانات مختلفة، وقد وجد أن العلاقة خطية ومضطردة، وقد وجد أن ميل الخط المستقيم الناتج يؤكد التناسب بين BMR، كتلة الحيوان mass للأس $3/4$ (أى $m^{3/4}$).



شكل (1-16)

وقد رسمت العلاقة السابقة شكل (1-16) فى ضوء حساب إحتياجات الجسم من الطعام (Food Requirements) حيث أن معدل تولد الحرارة فى جسم الكائن الحى تتناسب مع كمية طعامه وتلك بدورها تتناسب مع كتلة الكائن الحى، وكذلك فإن معدل فقدان الحرارة من جسم الكائن الحى إلى الوسط المحيط تتناسب مع مساحة سطح جسمه، أى تستطيع القول بأن كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة فى وحدة الكتل تتناسب مع الطول المميز للجسم الحى عكسياً أى أن :

$$\frac{1}{L} = \frac{L^2}{L^3} = \frac{\text{مساحة سطح الجسم}}{\text{حجم الجسم}} = (\text{الحرارة}) \text{ المكتسبة أو المفقودة}$$

ولذلك فإن أصغر الحيوانات سوف يعوض نفسه عن المفقود من الحرارة بمداومته الأكل وبذلك يأكل هذا الحيوان ما يزيد عن كتلته يومياً والفار يأكل ما يزيد عن ربع كتلته يومياً والنوع الصغير جداً من الفئران (shrew) يموت جوعاً إذا لم يتغذى كل

◆ (الباب السادس عشر- حساب الطاقة والقدرة والشغل في الجسم) ◆

أربعة ساعات، والعكس صحيح في حالة الفيل مثلاً الذي يشعر بشكل دائم أن جلده ساخن وأنه يرغب في تبريد نفسه في المستنقعات (waterholes) والحشرات التي تكون مساحة جسمها السطحية إلى حجمها كبيرة نسبياً لا تستطيع أن تأكل الطعام بمعدل يسبب ثبوت درجة حرارتها وذلك لكونها من ذوات الدم البارد وأن درجة حرارتها دائماً هي درجة حرارة الوسط الذي نعيش فيه، ومن ثم تقل الحرارة المفقودة ولا يكون هناك رغبة في الطعام.

وبذلك فإن كمية الحرارة المفقودة من سطح الجسم تتناسب مع مساحة سطحه أي كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة L^2 .

ونظراً لأن كتلة الحيوان (m) تتناسب مع حجمه.

$$\therefore mL^3$$

$$\text{or } Lm^{\frac{1}{3}}$$

ومن هنا يكون:

معدل فقدان الحرارة واكتسابها (Rate of heat loss or gained)

$$\text{Rate of heat loss or gained } \alpha L^2 \left(m^{\frac{1}{3}} \right)^2 = m^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

ويمكن القول أن معدل فقدان أو اكتساب كمية الحرارة في جسم الكائن الحي أو أي تغير في أي عملية بناء (metabolic process) (مثل إستهلاك الأكسجين مثلاً Rate of oxygen consuming سوف يتناسب مع كتلة الجسم للأس (2/3).

وقد رسمت هذه العلاقة كما في شكل (1-16) إلا أن النتائج العملية كانت صحيحة عندما يكون التناسب مع الكتلة ذات الأس (3/4) وليست (2/3) ولإجراء هذا التصحيح أفترض (Thomas memahon) أن جسم الحيوان يتكون من أجزاء أسطوانية مثل العمود الفقري، الرأس، الساق، الذراع في جميع الحيوانات ومن بينها الإنسان تبدو

أسطوانية الشكل وبذلك تكون كتلة كل جزء متناسبة مع مساحة قاعدة الاسطوانة فى طول الاسطوانة أى أن :

$$(mass)m \propto d^2 \quad (4)$$

ℓ طول الاسطوانة (الجزء أسطوانى)، d نصف قطرها.

(وبدلاً من استخدام طول واحد مميز يجب استخدام طولين مميزين هما طول الاسطوانة ونصف قطرها)، وقد حاول الوصول إلى علاقة تربط كلا من d ، ℓ ، وأفترض أن طول الجزء الأسطوانى (ℓ) يستطيع أن يدعم نفسه ويتناسب مع نصف قطره للأس (2/3).

$$\ell \propto d^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

أى أن :

كما وقد حاول تطبيق هذا القانون على كل من النبات والحيوان معتبراً كتلة الحيوان m .
أى أن :

$$\therefore m \propto d^2 \propto d^{\frac{2}{3}} d^2 = d^{\frac{8}{3}} \quad (6)$$

فإذا أخذنا عضو نصف قطره d ومساحة مقطعه تتناسب مع d^2 فإن قوة العضلة تتناسب مع معدل فقدان كمية الحرارة منها وكمية الحرارة هذه تتناسب مع مساحة مقطع العضلة أى أن :

$$\text{The muscle heat production or loss} \propto d^2 \propto \left(m^{\frac{3}{8}}\right)^2 = m^{\frac{3}{4}}$$

وبذلك تكون عملية البناء فى الجسم الحى (BMR) تتناسب مع كتلة الجسم الحى للأس (3/4) وأن العلاقة فى الشكل (1-16) صحيحة.

◆ الباب (الساوس) عشر- حساب الطاقة والقدرة والشغل في الجسم ◆

كما يجب أن نلاحظ أن عملية الأيض (البناء) في أى حيوان مرتبطة بالمعدل الذى يمد الدم بالأكسجين ومعدل الإمداد بالأكسجين يتناسب مع حجم الرئة ومعدل مرات التنفس (Respiratory rate or Respiratory frequency).

أى أن معدل إكتساب الحرارة أو فقدانها \propto حجم الرئة \times عدد مرات التنفس.

\therefore Rate of heat gain or loss \propto Lung volume \times Respiratory frequency

$$(R.H.P) \propto V_L \times f_r \quad (7)$$

ولكن حجم الرئة يتناسب مع حجم أو كتلة الحيوان.

أى أن :

$$V_L \propto m$$

أى أن :

$$f_r \propto \frac{R.H.P}{V_L} = \frac{m^{\frac{3}{4}}}{m} = m^{-\frac{1}{4}} \quad (8)$$

وقد وجد عمليا أن معدل التنفس ونبضات القلب يحقق القانون.

$$f_r \propto m^{-\frac{1}{4}}$$

ومن (8) فى (7) :

$$\therefore R.H.P \propto m \times m^{-\frac{1}{4}} = m^{\frac{3}{4}}$$

كما أوضحنا فى شكل (1-16).

وخلاصة القول أنه كلما زادت كتلة الجسم كلما زادت معدلات البناء الأساسية

(BMR).

ومعدل البناء (metabolic rate) في الجسم يعتمد على درجة حرارة الجسم والعمليات الكيميائية اللازمة لذلك تعتمد بدرجة كبيرة على درجة حرارة الجسم أيضا، وكل تغير ولو صغير في درجة حرارة الجسم يؤدي إلى تغير كبير في معدل التفاعلات الكيميائية.

وعلى سبيل المثال فإن تغير قدره 1°C في درجة حرارة الجسم يؤدي إلى تغير قدره 10% في معدل البناء metabolic rate وكذلك إذا كان هناك مريض درجة حرارته 40°C أي زادت درجة حرارته بمقدار 3°C فوق درجة الحرارة العادية فإن معدل البناء يزداد بمقدار 30% أكبر من الشخص العادي.

وبالمثل إذا نقصت درجة حرارة مريض بمقدار 3°C فإن معدل البناء يقل بمقدار 30% عن الشخص العادي.

ومما سبق نرى أن البيات الشتوي (hibernating) ظاهرة مفيدة للحيوانات عند درجات الحرارة المنخفضة. ويكون ذلك هو السبب في انخفاض درجة حرارة المريض عند إجراء عمليات جراحية في القلب (Heart surgery). ولكي نحافظ على وزن ما ثابت لشخص ما فإنه يجب أن يستهلك كمية من الطعام تكون كافية للمحافظة على المعدل الأساسي للبناء (BMR) كما تعطيه الطاقة اللازمة لجميع نشاطاته. ومن الجانب الآخر فإن الطعام القليل يؤدي إلى نقص الوزن والاستمرار في عملية تقليل الطعام يؤدي إلى الموت جوعا (starvation).

الشغل والقدرة work and power

يستطيع الجسم أن يبقى على الحياة ويتمتع بكامل حيويته مع أدائه لواجبات الحياة في حركة منقطعة النظر، كما سبق أن أوضحنا.

فالجسم حين يتحرك يقوم بعمل شغل، شغل خارجي وهو يحسب كالآتي:

$$\Delta w = F \cdot \Delta x$$

◆ الباب (الساوس عشر- حساب الطاقة والقدرة والشغل في الجسم) ◆

شريطة أن تكون القوة F في اتجاه المسافة Δx .

والمعدل الذى يبذل به الجسم الشغل فى وحدة الزمن هو القدرة p أى أن:

$$p = \frac{\Delta w'}{\Delta t} = F \frac{\Delta x}{\Delta t} = F.v$$

حيث v سرعة الجسم أثناء الحركة.

والشغل الذى يبذله الجسم فى صعود جبل أو إرتقاء سلم يعطى بالعلاقة:

$$\Delta w = mg.\Delta h$$

حيث Δh هى إرتفاع أو المسافة الرأسية، g التسارع الجذبي الأرضى.

وعندما يتحرك جسم ما بسرعة ثابتة على مستوى سطح فإن معظم القوى الفاعلة تكون عمودية على اتجاه حركته الأمر الذى قد يفهم منه أن الشغل المبذول يساوى صفر إلا أن الشغل المبذول يكون هو الشغل الذى تبذله العضلات ويسمى بالشغل الداخلى (internal work) وهو يظهر بشكل حرارة فى العضلات ويسبب إرتفاع درجة حرارة الجسم، ويمكن إزالة الحرارة التى تظهر فى العضلات بمرىان الدم فى العضلات أو بالتوصيل من خلال الجلد أو بالعرق.

ومثال ذلك أنه يمكن حساب الشغل المبذول بواسطة راكب دراجة ثابتة (ergo meter) وذلك بقياس القوة المقاومة لحركة البدال، ويأخذ الزمن فى الاعتبار وبالتالي يمكن حساب قدرته.

وكفاءة جسم الكائن الحى ككفاءة آلة يمكن أن نحصل عليها من العلاقة الآتية:

$$\eta = \frac{\Delta w'}{E} = \frac{\text{work done}}{\text{Energy consumed}}$$

ويمكن حساب الطاقة المستهلكة (Energy consumed) من طاقة الطعام (Food energy) حيث أن 5 كيلو كالورى يمكن الحصول عليها من إستهلاك لتر من الأكسجين.

والقدرة والكفاءة متلازمين فإذا زادت القدرة زادت الكفاءة وتزداد الكفاءة بالتدريب فاللاعب المدرب تصل كفاءته في سباق الدرجات إلى 20%. وذلك بزيادة قدرته الناتجة عن زيادة معدل البناء (metabolic rate).

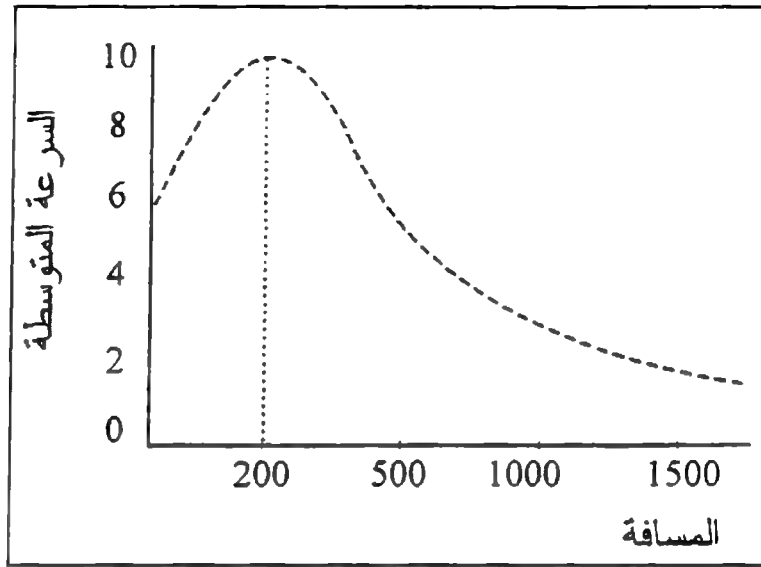
فإذا كان اللاعب يتحرك على مستوى أفقى بسرعة ثابتة فإنه لا يوجد تغير فى طاقة حركته وتكون كل قدرته موجهة لمقاومة الرياح والاحتكاك. والسعة القصوى للجسم متغيرة، فالنشاطات التى تتم خلال فترات زمنية صغيرة يستطيع الجسم أن يؤديها بكفاءة عالية والعكس صحيح فى حالات العمل فى فترات زمنية كبيرة، وقد وجد أن القدرة على العمل لفترات زمنية طويلة يعتمد على أقصى معدل لإستهلاك الأكسجين فى العضلات المشاركة فى العمل.

وقد وجد أن ذلك يكون بمعدل 50 ml/kg من وزن الجسم فى الدقيقة.

ومثال ذلك:

سرعة الجرى Running speed :

يحتفظ العداء بأقصى سرعة له (Top speed) زمن محدود، وبذلك تكون السرعة المتوسطة للجرى مسافات طويلة أقل من أقصى سرعة، وقد وجد عمليا أن السرعة المتوسطة تقل بزيادة المسافة، ووجد أن السرعة المتوسطة هذه تزداد أولا فى حالات الجرى مسافات قصيرة (200 متر فأقل) ثم تقل بعد ذلك بانتظام. شكل (2-16).



شكل (2-16)

والمنحنى يوضح أن العداء حين يعدوا يعجل نفسه إلى أقصى سرعة (Top speed).

فإذا فرض أن السرعة القصوى لعداء كانت 10.5 متر/ ثانية وتسارعه في حدود 2 متر/(ثانية)² فإن سرعته المتوسطة لابد أن تكون أقل 10.5 متر/ ثانية في كل المسافة وذلك لكون سرعته في وقت التسارع تكون نصف سرعته القصوى أي أن سرعته المتوسطة لمسافة جرى (المارسون) قدرها 200 متر تكون أكبر من سرعته المتوسطة لمسافة جرى قدرها 100 متر وذلك لكون سرعته لوقت طويل في المسافة الأولى كانت أقصى سرعة وأن احتفاظ العداء بأقصى سرعة أكبر وقت ممكن يزيد من سرعته المتوسطة ولكن العداء لا يستطيع ذلك بالرغم من أن السرعة المتوسطة تزداد في المسافات الأقل من 200 متر فإنها بعد ذلك تبدأ في التناقص بشكل منتظم كما في شكل (2-16).

والسبب أن العداء لا يستطيع الاحتفاظ بسرعته القصوى هو أن الإمداد بالأكسجين يكون غير كاف، وذلك لكون الجسم أستنفذ الأكسجين المخزن في العضلات في المسافة

الأولى من لسباق حيث وصل به إلى السرعة القصوى، وبعدها يكون الإمداد بالأكسجين لا يواكب إحتياجات الجسم رغم زيادة معدلات التنفس، وقد وجد أن مخزون الأكسجين في العضلات ينفد عند المسافة في المدى من 200-250 متر ولذلك فإن العداء في المسافات الطويلة في الجري يوطن نفسه على العدو بسرعة أقل من سرعته القصوى ويختارها العداء بخبرته حتى يواكب الإمداد بالأكسجين إحتياجات جسمه طوال مسافة السباق. (عمليات تحتاج أكسجين aerobic).

الجري للقفز الطويل The running long jump :

تستخدم نظرية المقذوفات في حالة القفز، فعند نقطة المغادرة مركبات سرعة القافز تكون v_{ox} في الاتجاه الأفقى، v_{oy} في الاتجاه الرأسى.

وبالنسبة للمركبة الأفقية v_{ox} للعداء هي 10.5 متر/ ثانية، وبالنسبة للمركبة v_{oy} هي السرعة التى يقفز بها القافز إلى أعلى رأسيا وهي لا تتعدى 0.6 متر.

وفى ضوء ذلك فإن المركبة الأفقية تكون ثابتة ومركبة السرعة الرأسية هي السرعة التى تمكنه منها عضلة الرجل وتدفعه إلى الأعلى وبذلك تكون مركبات السرعة :

$$v_{ox} = 10.5 \text{ m/s}$$

$$v_{oy} = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.6} = 4.85 \text{ m/s}$$

وبذلك تكون السرعة الابتدائية للحركة هي :

$$v_o = \sqrt{v_{ox}^2 + v_{oy}^2} = [(10.5)^2 + (4.85)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$v_o = 11.6 \text{ m/s}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{v_{oy}}{v_{ox}} = \tan^{-1} \frac{4.85}{10.5} = 25^\circ$$

وزاوية القفز هي:

◆ الباب (الساوس عشر- حساب الطاقة والقدرة والشغل في الجسم) ◆

والمدى الذى يقطعه القافز R يعطى بالعلاقة :

$$R = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta = 10.5m$$

السرعة النهائية Terminal velocity

عند السقوط من إرتفاع ما (دور ثالث مثلا) فإن الساقط يعانى من نتائج خطيرة ولكن إذا كان الساقط حيوان صغير أو حشرة صغيرة فإنها لا تعاني من هذا الموقف أية شئ بل وقد تسقط ثم تتحرك بسرعة.

والسبب فى ذلك أن النسبة بين مساحة سطح جسم هذه الحيوانات أو الحشرات إلى حجمها كبيرة نسبيا، ونظرا لكبر هذه النسبة فإنه عند سقوطها تكون مقاومة الهواء لها كبيرة وتقاوم جذب الأرض لها وتمنع سرعة السقوط من أى تتعدى حد معين.

ونظرا لأن سرعة السقوط تزداد بقوة جذب الأرض إلى أسفل وهى تتناسب طرديا مع كتلة الجسم الساقط (أو حجمه)، والقوة المقاومة للهواء تعتمد على مساحة مقطع الجسم الساقط.

فإذا تساوت قوة الجذب إلى أسفل وقوة مقاومة الهواء إلى أعلى فإن الجسم يسقط بسرعة ثابتة تسمى بالسرعة النهائية Terminal velocity وكلما كانت النسبة بين مساحة سطح الجسم وحجمه كبيرة كانت السرعة النهائية صغيرة.

والسرعة النهائية لسقوط الإنسان فى حدود 65 متر/ ثانية وذلك فى حالة نشر ذراعيه ولكن إذا إنكمش الإنسان على نفسه بشكل كرة فإن السرعة النهائية تكون فى حدود 105 متر/ ثانية، وقد وجد أن أقصى سرعة نهائية للحشرات تكون أمتار قليلة ثابتة، الأمر الذى يمكنها هى والحيوان الصغيرة من تفادى الآثار الضارة للتصادم حين السقوط وتسقط بشكل آمن.

قوة كسر العظام فى القفز

Bone breaking force in jumping

عندما يسقط شخص من إرتفاع ما أو من قفزه على أرض سطحها صلب فإن إجهاد شديد جدا يقع على عظمة الساق الأمامية (عظمة طويلة تسمى Tibia) ويكون الاجهاد أقصى ما يكون عند النقطة التى يكون فيها مساحة مقطع الساق أقل ما يمكن وهى المنطقة فوق الكعبين (ankle)، وسوف تتكسر الساق من المكان المشار إليه إذا كانت قوة التصادم تزيد عن 50 نيوتن، أما إذا سقط القافز على قدميه الأثنين بشكل قائم (squarely) فإن قوة التصادم سوف تكون ضعف هذه القيمة على كل قدم أى 105 نيوتن.

وتحسب هذه القوة كما ينى :

قوة التصادم على عظمة الساق تساوي كتلة الساق مضروبة فى متوسط التسارع للحركة قبل التصادم.

أى أن :

$$F = m \cdot \bar{a}$$

والسرعة المكتسبة فى حالة سقوط جسم من السكون خلال إرتفاع قدره (H):

$$v^2 = 2gH$$

ومتوسط التسارع \bar{a} والتى يتحرك بها جسم سرعته v من مسافة قدرها h قبل التصادم :

$$v^2 = 2ah$$

$$\therefore a = g \frac{H}{h}$$

◆ (الباب السادس عشر- حساب الطاقة والقدرة والشغل في الجسم) ◆

وعلى ذلك تكون قوة التصادم:

$$F = m.g \frac{H}{h}$$

حيث $\frac{H}{h}$ النسبة بين إرتفاع السقوط (H) إلى المسافة التي يحدث فيها عجلة تقصيرية حتى السكون.

والشخص الذى يسقط حاد دون أن يثنى ركبتيه تكون المسافة H فى حدود 1 سم، وبذلك تكون قوة التصادم مساوية 130 مرة وزن الجسم الساقط
أى أن :

$$H = \frac{F.h}{mg} = \frac{130mg \times 0.01}{mg} = 1.3m$$

أى أن السقوط على أرض صلبة من إرتفاع 1.3 متر يؤدي إلى كسر الساق (Tibia) ولكي يثنى الركبتين خلال السقوط (landing) فإن مسافة تقصير العجلة h تزداد وتصل قيمتها إلى 0.6 متر كما فى حالة القفز إلى أعلى.

لاحظ أن 0.6 متر أكبر مما ذكر فى المثال السابق 60 مرة وهذا يبدو وكأن شخص سقط من إرتفاع (H).

$$H = 60 \times 1.3m = 87m$$

وكان التحايل بثنى الركبتين يمكن القافز من إرتفاع قدره هذه القيمة دون أضرار، والسبب فى ذلك أن القوة التقصيرية تقع جميعها على الأحبال وروابط مفصل الركبة الأمر الذى يقلل العوامل المسببة إلى الكسر إلى $\frac{1}{20}$ من قيمتها الحقيقية أى أن الارتفاع الذى ذكر وقيمه 78 متر يؤثر كما لو كان فقط 3.9، أى أن السقوط الآمن لا يتأتى من فراغ ويحتاج تدريب وإلا ظل الاسقوط والقفز مخاطرة.

ويستطيع الأشخاص المدربون على القفز من إرتفاعات عالية وخصوصا إذا كان السقوط على أرض رخوة مثل الماء العميق والثلج الإسفنجي (soft snow). وقد سجلت الدوائر الرسمية للأبطال كثير من هذه الأعمال مثل القفز من الطائرات والسباحة فى الهواء، والقفز من قمم الجبال وخصوصا إذا لم يكن هناك بديل.

الحرارة المفقودة من الجسم Heat losses from the body

الطيور والثدييات (mammals) تعرف على أنها ذوات الدم الحار (warm-blooded or home thermic) وبقية الحيوانات تعرف على أنها ذات الدم البارد (cold-blood or poikilo thermic) وذلك مثل الضفدعة والثعبان. ودرجة حرارة جسمها فى الأيام الحارة تكون أكبر من درجة حرارة أجسام الثدييات لأنها لا تتمتع بآلية تثبت درجة حرارة جسمها مهما تغيرت الظروف البيئية كما هى الحالة فى الثدييات وذلك يؤدى بدوره إلى أن تؤدى الثدييات عملية البناء بمعدل ثابت مهما كانت برودة الجو. ونظرا لثبوت درجة الحرارة هذه فى بنى البشر فإن عندها مخزون من الحرارة طالما هى على قيد الحياة، وعندما تتوقف عملية البناء بالموت فإن الجسم يشع حرارته إلى الوسط بمعدلات كبيرة حتى يبرد الجسم وتتنز درجة حرارته مع الوسط المحيط. أى أنه بمعرفة درجة حرارة الجسم يمكن معرفة متى كانت الوفاة.

ودرجة حرارة جوف الإنسان العادى الصحيح 37°م لأنه مزود بثرموستات مثل ذلك المستخدم فى غرف التبريد إلا أنه أدق وأدوم ويوجد تحت المركز البصرى (Hypothalamus) فى المخ فإذا إرتفعت درجة حرارة جوف الإنسان لأى سبب فإن الهيبوثالمس يأمر بإفراز العرق ويوسع الشرايين (vasodilatation) حتى ترتفع درجة حرارة الجلد وبالتالي تزداد كمية الحرارة المفقودة إلى الوسط المحيط، وإذا حدث العكس أى أنه إذا إنخفضت درجة حرارة الجلد فإن المجسات الحرارية (أعصاب خاصة لرصد درجة حرارة الجلد) (Thermoreceptors) على الجلد تعلم الهيبوثالمس الذى يولد رعشة (shivering) ويسبب إرتفاع درجة حرارة جوف الإنسان core

◆ الباب (الساوس عشر- حساب الطاقة والقدرة والشغل في الجسم) ◆

temperature ومعدل إنتاج الحرارة في الجسم هو 2400 كيلو كالورى/ يوم أى فى حدود 1.7 كيلو كالورى/ دقيقة، والجسم يفقد هذه الحرارة بنفس المعدل إذا كانت درجة حرارته ثابتة، وتعتمد كمية الحرارة المفقودة من الجسم سواء بالإشعاع، بالحمل أو بتبخير العرق أو بالتنفس على العوامل الآتية :

1. درجة حرارة الوسط المحيط.
 2. الرطوبة النسبية.
 3. سرعة الهواء.
 4. نشاطية الجسم نفسه (physical activity).
 5. الجزء المعرض من الجسم للعوامل البيئية.
 6. مقدار العوازل حول جسم الإنسان (ملابس ودهون)
- وحسب قانون إستيفان (Stefan law) فإن كمية الحرارة المفقودة من الجسم تتناسب مع درجة حرارته للأس الرابع (T^4) والجسم كذلك يمتص حرارة من الوسط، والعلاقة التالية تعطى الفرق بين الحرارة المفقودة والحرارة الممتصة بالإشعاع (Radiation).

$$H_r = k_r A_r e (T_s - T)$$

H_r هى معدل فقدان أو إكتساب الحرارة بالإشعاع، A_r هى المساحة السطحية للجسم الذى يعطى الإشعاع. e هى إشعاعية السطح (Emissivity)، T_s هى درجة حرارة الجلد T ، ودرجة حرارة الوسط المحيط، Kr ثابت وقيمته 5 كيلو كالورى/ متر². ساعة $e=1$ بمعنى أن الجسم تام الإشعاع وتام الامتصاص فى حالة الإشعاع الحرارى (IR).

وتعطى كمية الحرارة المفقودة بالحمل (convection(H_c) بالعلاقة :

$$H_c = k_c A_c (T_s - T_o)$$

K_c ثابت يعتمد على حركة الهواء، T_a درجة حرارة الهواء عندما يكون الجسم ساكن ولا تكون هناك رياح محسوسة فإن $K_c = 2.3 \text{ k.cal}$ ، وعندما تكون درجة حرارة الهواء $T_a = 25^\circ\text{C}$ فإن درجة حرارة الجلد تكون 34°C والمسافة المؤثرة $A_c = 1.2 \text{ متر}^2$ فإن الجسم العريان (nude) يفقد ما يساوى 25% من حرارته.

وعندما يتحرك الهواء فإن قيمة k_c تزداد في ضوء العلاقة :

$$k_c = 10.45 + v + 10\sqrt{v}$$

حيث v هي سرعة الرياح.

ودرجة الحرارة المكافئة الناتجة عن حركة الهواء تسمى معامل البرد chill factor ويعين بدرجة الحرارة الفعلية وسرعة الرياح.

مثال ذلك، عندما تكون درجة الحرارة (-20°C) م وسرعة الرياح 10 متر/ ثانية (تجمد حاد stiff breeze) فإن أثر البرد على الجسم يكون كما لو كانت درجة الحرارة (-40°C) في يوم هادئ (رياح غير محسوسة).

وطرق فقدان الحرارة من الجسم في الظروف العادية هي طريقة تبخير العرق، وعندما تكون الظروف غير عادية فإن الفرد يعرق في حدود لتر كل ساعة ونظرا لأن كل جرام ماء يتبخر من جسم الإنسان يحمل معه 580 كيلو كالورى، (الحرارة الكامنة لتبخير الماء) فإن تبخير لتر من الماء يحمل الجسم على فقد 580 كيلو كالورى، وتعتمد عملية تبخير العرق على سرعة الرياح والرطوبة النسبية.

ويفقد جسم الإنسان كمية الحرارة عن طريق التنفس حتى ولو لم يشعر الجسم بعرق، كما يفقد كمية أخرى في تبخير الرطوبة من الرئتين، وكذلك حينما يتنفس الهواء البارد فإن الهواء هذا يسخن إلى درجة حرارة الجسم ويفقد حرارته.

ونظرا لأن إشعاع الحرارة من الجسم إلى الهواء تعتمد على درجة حرارة الجلد فإن أى عامل يؤثر على درجة حرارة الجلد يؤثر على كمية الحرارة المفقودة.

◆ الباب (الساوس عشر- حساب الطاقة والقدرة) والأشغل في الجسم ◆

والجسم تمكنه ملكاته من إختبار طريق عودة الدم من الأطراف (اليدين، الرجلين) إلى القلب، ففي حالة الأجواء الباردة يعود الدم إلى القلب من خلال أوعية داخلية وقريبة من الشرايين التي يحمل الدم من القلب إلى الأطراف وبذلك يستغل قدر من حرارة الشرايين في تسخين الدم العائد إلى القلب وبذلك تبرد الأطراف وتقلل لمفقود من الطاقة الحرارية إلى الوسط المحيط، أما في حالة أيام الصيف أو البيئات الدافئة فإن الدم يعود إلى القلب من خلال أوردة قريبة من سطح الجلد فترتفع درجة حرارة الجلد وتزيد كمية الحرارة المفقودة منه إلى الوسط.

والدراسة التي تمت حتى الآن على جسم عريان (nude body) وذلك غير طبيعي حيث من الطبيعي أن يكون حول جسم الإنسان سواثر، وقد وجد أن درجة الحرارة المناسبة والمريحة للإنسان هي 30°م، ويمكن الوصول إلى هذه الدرجة بضبط نوع ثياب الإنسان مع ما يؤديه من عمل، بحيث تكون درجة حرارة البيئة حوله 21°م وتكون سرعة الرياح 0.1 متر/ ثانية، وإذا تم ذلك بهذه الطريقة دون إنحراف عنها سمية (واحد كلو clo) أي أن وحدة جديدة يقاس بها المفقود أو المكتسب من الحرارة في جسم الإنسان المغطى بلباس يقيء سوء الجو، ويتحقق واحد كلو clo إذا لبس الإنسان بدلة خفيفة في وسط درجة حرارته 21°م وسرعة الرياح 0.1 متر/ ثانية.

وبذلك يكون واضح أن ملابس تقي الإنسان بقيمة قدرها 2 كلو clo تحميه من جو أبرد أكثر من 1 كلو clo، وبذلك يحتاج الإنسان إلى عدد أكبر من لculos في حالة الكسل عن حالة النشاط وقد دلت الدراسات على أن الكائنات الحية ومن بينها الإنسان والتي تعيش في أقصى أقطاب الأرض (شمالي وجنوبي) تحتاج ملابس عزلها أكبر من 4 كلو clos [فرو الثعلب له عزل قدره 6 clos].

الباب السابع عشر

فيزياء العظام

Physics of bone

الباب السابع عشر

فيزياء العظام

Physics of bone

مقدمة:

تتميز العظام بأهمية خاصة لكونها قوية ومعمرة وقد إستخدمت قديماً في صناعة الآلات والأسلحة والقطع الفنية وهى تحمل سجلاً طبيعياً لتطور الحياة ومنها يمكن تتبع العرقية (cultural) فى جنس ما.

وقد أهتم بالعظام كثير من المختصين مثل المهندسين والفيزيائيين فضلاً عن الأطباء الذين هم أهل الفن والمبدعين فيه، والسبب فى إهتمام غير الأطباء بالعظام فى أنها قوام الجسم للكائن الحى وعليها تقع قوى كثيرة سواء كانت ساكنة أو متحركة ودراسة هذه القوى ساعد على تفهم وظيفة العظام فى خدمة جسم الكائن الحى كما تساعد على تصميم العظام البديلة من حيث الكم والكيف والملائمة فى حال الاحتياج.

ومهمة العظام فى الجسم هى :

- (1) الدعم.
- (2) إعطاء الجسم قوة.
- (3) حماية الأعضاء.
- (4) تخزين الكيماويات.

(5) نقل الأصوات.

(6) وقد يكون لها دور فى التكاثر فى بعض الأجناس.

مكونات العظام Bones contents

تتكون العظام من المكونات الموجودة فى جدول (1-17) :

H	C	N	O	Mg	P	S	Ca	Miscellaneous
3.4	15.50	4.00	44.00	0.20	10.20	0.30	22.20	0.20

ونظراً لأن نواة ذرة الكالسيوم أثقل من باقى المكونات فإنها تمتص قدر أكبر من الأشعة السينية التى تسقط على العظام وبذلك تظهر صور العظام بشكل أوضح مما يحيط بها من أنسجة.

وتتكون العظام من مادتين مختلفتين بالإضافة إلى الماء:

(1) النسيج الضام (collagen): وهى مادة بروتينية من مكونات العظام ينتج عنها الهلام عند التسخين وهو الجزء العضوى فى العظام ويكون ما يساوى 40% من وزن العظام الصلبة ويكون حوالى 60% من حجمها.

(2) معادن العظام (Bone minerals): وهى المركبات الغير عضوية فى العظام وتكون حوالى 60% من وزن العظام كما تكون 40% من حجمها. والمركبات معاً يعطيان العظام حيويتها وقوتها وإذا غابت المعادن أصبحت العظام عبارة عن قطعة مرنة من النسيج الضام يمكن ثنيها وطئها وإذا غاب النسيج الضام ازدادت هشاشة العظام وأمكن سحقها بأى مؤثر. ويتكون النسيج الضام من الخلايا العظمية (Osteoblastic) ثم تحيط المعادن وتتكون العظام.

والنسيج الضام للعظام يختلف عنه فى أجزاء أخرى من الجسم مثل الجلد. ومعادن العظام عبارة عن بلورات بشكل قضبان أبعداً دقيقة وصغر هذه الأبعاد البلورية أدى

إلى كبر المساحة السطحية لها، (وهي في حدود 10^5 متر²) يوجد حول كل بنورة طبقة من المياه محتوية على محاليل كثيرة من الكيماويات التي يحتاجها الجسم، والمساحة الكبيرة لبلورات معادن العظام تسمح للعظام بالتفاعل السريع مع الكيماويات الموجودة في الدم والموجودة في سوائل أخرى في الجسم، وعلى سبيل المثال في خلال دقائق قليلة إذا حقن الجسم بالفلور المشع (^{18}F) فإن الفلور المشع ينتشر في كل عظام الجسم، وبهذه الطريقة يمكن تحديد موضع الورم في العظام (Bone tumors).

أشكال العظام Bones shape

يمكن تقسيم عظام الجسم من حيث الشكل إلى:

1. عظام صغيرة وعريضة، بشكل ألواح مثل عظمة الكتف (shoulder blade (scapula)).
2. عظام طويلة فارغة مثل الذراع، الرجل، الأصابع.
3. عظام إسطوانية بشكل أو بآخر مثل فقرات العمود الفقري.
4. عظام غير منتظمة مثل عظام المعصم والكاحل (wrist and ankle).
5. عظام على شكل الضلوع. بالإضافة إلى عظام الجمجمة وكل هذه الأنواع تسمى دعامات.

وتنقسم العظام من حيث النوع إلى النوعين :

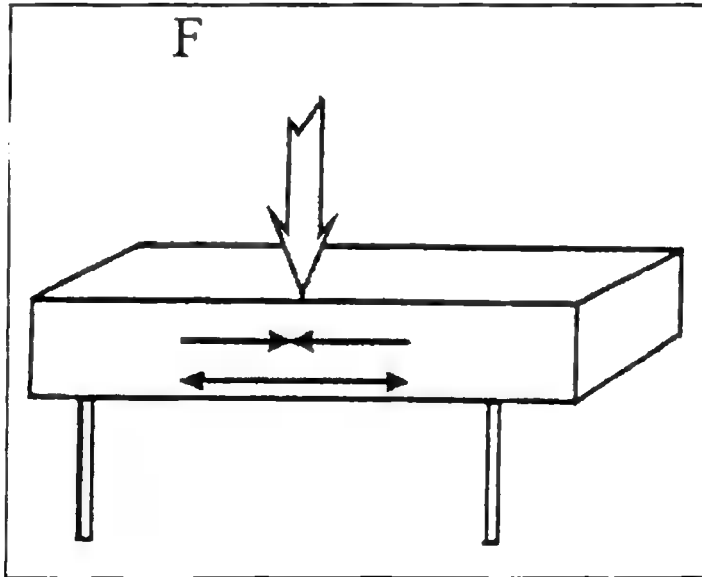
1. عظام صلبة مصمتة (مكدسة) (solid or compact).
2. عظام إسفنجية (spongy cancellous).
3. عظام مفرطحة (Trabecular).

والأجزاء المفرطحة من العظام تكون فى الأطراف بينما الأجزاء الوسطى تكون صلبة ومصمتة، وذلك لكون العظام المفرطحة تكون ضيقة عن العظام الصلبة نظرا لقلة كمية العظام فى وحدة الحجم، والعظام الهشة (osteoporotic) عادة تكون ضعيفة.

والعظام الموجودة فى الجسم بشكلها التى هى عليه تعتبر التصميم المثالى لأداء مهمتها (أفحص عظمة الفخذ Femur).

مرونة العظام Bone Elasticity

والإجهاد فى العظام يمكن دراسته كما لو كانت العظام قضيب من مادة صلبة مرنة، فإذا فرض أن لدينا قضيب وضع أفقيا كما فى الشكل (1-17) وأثرت عليه قوة من أعلى عند منتصفه فإن القضيب سوف يستطيل من جانبه السفلى وينكمش من جانبه العلوى كأثر للإجهاد الواقع عليه فى المنتصف، ولذلك يستخدم قطبان مادتها من أعلى أكتف من مادتها من أسفل فى القضبان شكل (1-17)



شكل (1-17)

◆ (الباب السابع عشر- فيزياء العظام) ◆

ونكن عندما تكون القوى المتوقعة على القضيب تكون من كل الجهات فإن القضبان الأسطوانية هي أنسب الأشكال حيث تتحمل أكبر إجهاد على أقل كمية من المادة، ولذلك كان الشكل الغالب للعظام هو شكل الاسطوانة المفرغة والتي تكون أطرافها تحتوى قليل من المادة فى وحدة الحجم بينما منتصفها يحتوى كثير من المادة فى وحدة الحجم الأمر الذى يؤكد عظمة تصميم العظام.

والشكل المفرطح لأطراف العظام (trabecular) عند نهايتى عظام الفخذ هو أيضاً الشكل المثالى ليتحمل ما يقع عليه من قوى الإجهاد.

والشكل المفرطح لنهايات العظام يعطيها مرونة زائدة وبذلك تستطيع امتصاص مزيداً من الطاقة عندما يقع عليها إجهاد كبير فى حالات المشى والجرى والقفز.

وتركيب العظام الذى ذكر سلفاً من نسيج ضام ومعادن تجعل مادتها قوية مثل الجرانيت فى حالة إجهاد الضغط (compression) وأقوى من الجرانيت بحوالى عشرون مرة فى حالة إجهاد الشدة (tension).

وكثافة العظام تعطى مؤشر على تكدر (compactness) مادتها وهى ثابتة على مدى حياة الجسم وتكون قيمتها 1.9 جرام/سم³، وفى الأعمار المتقدمة تنخر العظام وتبدو وكأنها خفيفة لا بسبب نقصان كثافتها ولكن بنقص مادتها بينما تظل الكثافة 1.9 جرام/سم³ للأجزاء الغير نخرة، وسوء الفهم الذى يحدث بداخل بين كثافة العظام وكتلة العظام ناتج من أن صور الأشعة السينية للعظام تعطى فكرة عن كتلة العظام وليس كثافتها والحديث عن الكثافة يكون عن الكثافة الضوئية لصورة الأشعة السينية.

وعند قياس الاستطالة الحادثة فى عظام عرضت لإجهاد شد أو إجهاد ضغط فإن قانون هوك للمرونة يسود بحيث يتناسب إجهاد العظام وإنفعالها طردياً أى أن :

$$\frac{F}{A} \propto \frac{\Delta l}{l}$$

$$\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta l}{l}$$

حيث l الطول الأصلي للعظام المعرضة لقوى الإجهاد F ، Δl هي الاستطالة، A مساحة مقطع العظام، Y معامل المرونة الطولى أو معامل ينج (young).

وتظل العظام مرنة إلى أن تصل إلى حد الكسر عند إجهاد 120 نيوتن/مم²، والجدول التالى (1-17) يوضح قيم الإجهاد ومعامل المرونة للعظام وبعض المواد الأخرى للمقارنة:

المادة material	إجهاد الكسر بالضغط compressive Breaking Stress (N/mm ²)	إجهاد الكسر بالشد Tensile Breaking stress (N/mm ²)	معامل المرونة modulus of Elasticity 10^2 \times (N/mm ²)
صلب قوى Hard steel	550	820	2090
جرانيت Granite	140	4.00	512
خرسانة مسلحة Concrete	19	2.0	160
عظام كثيفة compact	175	125	185
عظام مفلطحة trabecular	2.5	--	0.8

وعندما يأتى الجسم بأفعال خارقة تتولد فيه قوى كبيرة جدا فأثناء حمل ثقل كبير تتولد فى عظام الظهر السفلى عند الانحناء قوى كبيرة تمكنه من حمل الثقل الذى أراده وكذلك تتولد قوى كبيرة فى حالات المشى والجري كما ذكر سلفا- ففي حالة الجرى تكون القوى على عظمة الفخذ أربعة أمثال وزن الجسم- وفي حالة المشى فإن القوى على هذه العظمة تكون ضعف وزن الجسم.

وتصميم العظام ضمن لها معامل أمان كبير فى تدعيم الجسم فى حالتى السكون والحركة، والجدول السابق يبين أن العظام الصحيحة المكسدة (compact bone) تتحمل إجهاد ضغط قدره 175 نيوتن/مم² قبل الكسر وهذا الإجهاد بالمقارنة يكون أكبر بكثير من إجهاد الكسر فى كل من الجرانيت والخرسانة المسلحة.

الباب السابع عشر- فيزياء العظام

وإذا علمت أن عظمة الفخذ مساحة مقطعها عند المنتصف في حدود 3.2 سم^2 لعلمت أنها تتحمل قوة إجهاد قدرها 6×10^4 نيوتن، ومساحة مقطع عظمة ساق الرجل (shin_boner (Tibia)) ليست كبيرة إلا أنها مناسبة لتحمل كل أعباء النشاطات التي تقوم بها.

وعموماً لا تتكسر العظام تحت تأثير إجهاد الضغط ولكنها تنكسر تحت تأثير إجهاد قاص (shear) أو إجهاد شد (tension) والكسر القاص دائماً ناتج عن كسر حلزوني (spiral break) فيه تخترق العظام الجلد بعد الكسر.

ومن الجدول أيضاً يتضح أن إجهاد العظام بالضغط مختلف عن إجهاد العظام بالشد، والعظام تتحمل إجهاد شد قدره 125 نيوتن/مم² قبل الكسر وبالرغم من ذلك فهي أقوى بمرات عديدة من مواد صلبة معروفة تحت تأثير الشد.

السقوط الأمان Safety falling

من قانون الحركة الثاني يمكن حساب القوى التي تؤثر على العظام أثناء سقوط جسم من ارتفاع ما أو أثناء القفز ثم السقوط بعده، والقوى المؤثرة عند التصادم هي معدل تغير كمية حركة الجسم أو بشكل أبسط هي كمية حركة الجسم مقسوماً على زمن التصادم، أي :

$$F = \frac{\mu}{t} = \frac{Mv}{t}$$

حيث μ كمية الحركة، M كتلة الجسم، v سرعته، t زمن التصادم، F قوة التصادم، أي أنه كلما كان زمن التصادم قليل كلما كانت قوى التصادم أكبر، ولتقليل قوة التصادم وتقليل احتمال الكسر بنسبة عالية يلزم زيادة زمن التصادم، ويكون ذلك بدوران الجسم أثناء السقوط أو القفز حيث يوزع التغير في كمية الحركة على زمن أطول فيتم تفادي الكسر أو تقل حدته. وإذا لم يتم تكييف السقوط بالشكل السابق فإن السقوط الحاد على الرجل هو البديل والقوة المتولدة عند التصادم تكون في حدود

105 نيوتن، وبالتالي يقع على كل ساق إجهاد قدره 215 نيوتن/مم² . وهذه القيمة تزيد على إجهاد كسر العظام بالضغط بما يقرب من 30%.

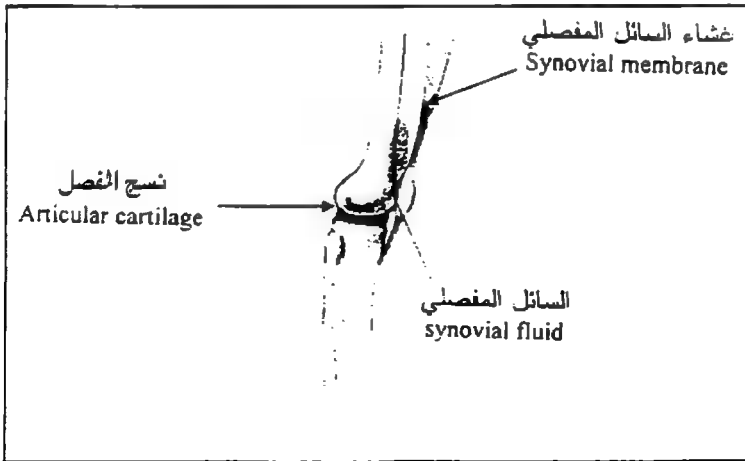
وعندما تتكسر العظام فإن الجسم يعمل على شفائها بسرعة إذا لم يكن الجزء المكسور مفصلياً (immobilized) وعندما يكون مفصلياً فإن الوقت يكون أطول -إلا أن وقوف المريض على قدميه بسرعة أمر هام- وفي حالة الكسور التى يتأكد طبيب العظام أنها لن تؤدى وظائفها فإنه يستبدل الأجزاء بأخرى صناعية مثل المفاصل وأدوات الوصل مثل المسامير والشرائح.

ويستخدم فى سرعة شفاء الكسور مجال كهربي محدود حيث يولد على سطحها شحنات كهربية كنوع من أنواع تأثير بيزور (piezoelectricity) التى تساعد على نمو العظام وشفائها (bone growth and repair).

تليين المفاصل Lubrication of bone joints

تعانى المفاصل من مرضين رئيسيين هما الروماتويد والتهاب المفاصل (Rheumatoid & Arthritis) وهما يؤديان إلى زيادة إفراز السائل الملين للمفاصل (synovial fluid) ويسبب إستسقاء المفاصل (swollen joints)، ومرض المفصل نفسه (osteoarthritis) يظهر عليه الورم.

المكونات الرئيسية للمفصل موضحة فى شكل (2-17).



شكل (2-17)

◆ (الباب السابع عشر- فيزياء العظام) ◆

والغشاء المفصلي يحتوى المفصل ويحفظ السائل المستخدم في تزييت المفصل (Lubricating synovial fluid) و سطح المفصل عبارة عن غضروف ناعم يعمل على سهولة انزلاق أحدهم على الآخر بأقل درجات الاحتكاك. وأى مرض يصيب هذا السائل يؤثر بشكل مباشر على المفصل نفسه.

والسطح الغضروفي للمفصل ليس ناعما بدرجة عالية، كما يمكن أن نتصور أو كما يحدث في المفاصل الصناعية.

ولكن به درجات من خشونة تملأ دورا هاما فى تزييت المفصل بإحتفاظها ببعض السائل (synovial fluid) حيث يعمل السطح الخشن نسبيا عمل مصاد للسائل، وعندما تتعرض المفاصل لدرجات عالية من الإجهاد فإن نوع آخر من السوائل يفرز من الغضاريف حيث يبرز فتائل من السائل لتقوم بدورها فى التزييت ثم تعود أدراجها عندما يعود الإجهاد إلى الحد الطبيعى أو يزول.

وتعتمد خواص السائل المزييت هذا على لزوجته (viscosity) فالسائل الأقل لزوجة يكون مناسب أكثر من الزيت عال اللزوجة، والسائل المزييت فى المفاصل يقل لزوجته تحت تأثير الاجهاد العالية (ضغط) وخصوصا الإجهادات القصية (shear stress) التى تقع على المفاصل، وخواص السوائل المزيطة للمفاصل (synovial fluid) تتحسن فى وجود الأحماض الأمينية والسوائل عديدة التسكر (الوزن الجزيئى فى حدود 500.000).

وقد وجد أن معامل الاحتكاك فى المفاصل لا يعتمد على قيمة الإجهاد الواقع عليه كما لا يعتمد على سعة الذبذبات التى تحدث فيه ووجد أيضا أن الدهون المحتواه فى غضاريف المفاصل تساعد فى تقليل معامل الاحتكاك.

وقد تمت التجربة السابقة على مفصل ورك (hip joint) من جثة (cadaver) حديثة عرضت إلى إجهادات عديدة لدراسة الأحمال المختلفة بإستخدامها كبن دول، وقد حسب معامل الاحتكاك من معدل تناقص سعة الذبذبات مع الزمن، وأثبتت النتائج أن

معامل الاحتكاك فى المفاصل فى حدود 0.01 وهو بذلك أقل قيمة من احتكاك الثلج إذا إنزلق على لوح صلب (0.03) ويرجع السبب فى ذلك إلى الدور الذى يقوم به السائل المزيث الذى فى غيابه تزداد قيمة معامل الاحتكاك إلى قيمة كبيرة وتبدأ من خشونة العظام.

قياس معادن العظام فى الجسم

Measurements of bone mineral in the body

تعتمد قوة العظام على كتلة معادن العظام فى العظام، والسبب الأساسى لهشاشة العظام (osteoporosis) هو نقص كتلة المعادن فى العظام عن الحد الطبيعى ونظراً لأن كتلة المعادن فى العظام تتناقص بشكل بطئ مع زيادة العمر فإن الحاجة ملحة للآلية دقيقة للإحساس بالتغير بمعدل صغير سنوياً (1% yearly) وإستخدام الأشعة السينية لهذا الغرض تعتبر آلية قديمة وغير ناجحة لكون الإشعاع السينى العادى المستخدم ليس وحيد الموجة وله طاقات مختلفة ويكون إمتصاص الكالسيوم للأشعة السينية متغير فى هذا المدى من الطاقة.

كما أن الموجات الطويلة نسبياً منها تستطار عند إنقناط صور للأشعة السينية على الأفلام المعروفة والتي تعتبر أداة غير دقيقة لعمل قياسات كمية وذلك نظراً لأن شدة إستضاءة الصور لا ترتبط بعلاقة خطية مع كمية الإشعاع أو مع طاقته، والنتيجة الحاسمة فى هذا الموضوع أن إستخدام الأشعة السينية لا يعطى مؤشر صحيح إلا إذا مرت فترات زمنية كبيرة بين مرات متابعة المريض وبذلك فهى آلية غير وقائية.

وقد إستخدمت آلية أخرى لهذا الغرض تعمل على أساس الامتصاص الضوئى (photon absorptiometry) وقد روعى فيها نقادى نقاط الضعف فى الآلية السابقة وهى :

1. إستخدام أشعة جاما أو أشعة السينية وحيدة الموجة.

2. استخدام شعاع ضيق جدا (مساحة مقطع صغير جدا) لتفادي أو تقليل الاستطارة (scattring).

3. استخدام كاشف دقيق لحساب عدد الفوتونات التي تصدم به وتجزئها ويمكن إسترجاعها لصدها بشكل دقيق (scintillation detector).

وبذلك أصبح حساب كتلة المعادن في العظام أمر سهل وبسيط حيث يلف الجزء المعنى من العظام في قطعة من نسيج رخو أو كيس آمن به ماء ثم توضع في الجهاز الذى يعمل على الفكرة السابقة ونعين كتلة المعادن فى العظام (Bone mineral mass(BM)) من العلاقة:

$$BM = k \log \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

حيث I_0 هى شدة إستضاءة الشعاع الساقط على العظام

I هى شدة إستضاءة الشعاع النافذ من العظام

K ثابت يمكن تعينه.

وتتكرر عملية حساب BM على جميع النقاط التى يسقط عليها الشعاع ثم تجمع وتحسب قيمة BM المتوسطة، ويتم ذلك إلكترونيا ونحصل على النتائج فى زمن قليل جدا.

وهناك آلية أخرى أكثر حداثة تستخدم فى قياس كتلة المعادن فى العظام الحية تسمى طريقة التنشيط الحى (In vivo activation).

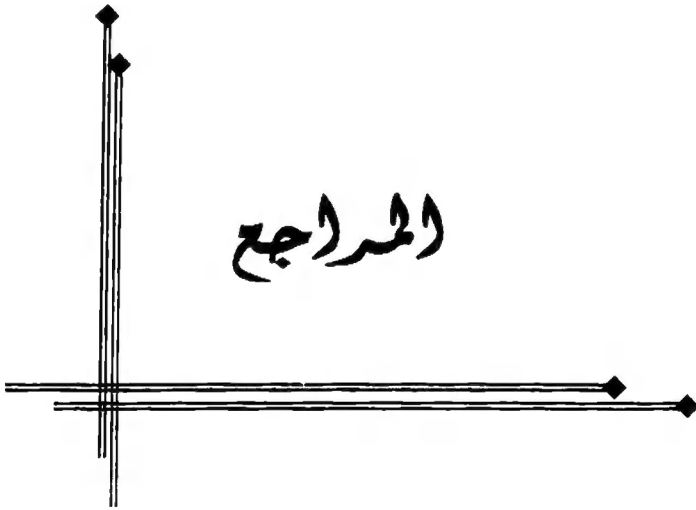
وفى هذه الطريقة يشعع الجسم كله بنيوترونات طاقتها عالية (energetic neutrons) لتحويل كمية من كالسيوم العظام وعناصر الألى أخرى إلى صورتها المشعة والتى تشع بدورها بعد الإثارة إشعاع جاما طاقتها عالية، وأشعة

جاما المنبعثة تستقبل وتعدد، وأشعة جاما المنبعثة من الكالسيوم المشع تحدد وتحسب ومن ثم نعين كمية الكالسيوم في الجسم ثم نعين كتلة المعادن في العظام (BM).

والجهاز المستخدم يعطى النتيجة مباشرة بالإضافة إلى خريطة مرسوم عليها شدة (قمم) الإشعاع المنبعث من الجسم كدالة في طاقتها للإستخدام، ولكن نظرا لكمية الإشعاع الذي يتعرض لها الجسم فإنه غير معقول إستخدام هذه الآلية للحصول على نتائج طبيعية أو عادية.

جدول (1) الجرعات الإشعاعية ووحدة القياس

نوع الجرعة الإشعاعية	وحدة القياس	التعريف/الرمز
1. النشاطية الإشعاعية	بيكريل (Bq) (بيكريل)	1. Bq defined as; one nuclear decay per second.
	Curi (ci) (كوري)	$ci = 3.7 \times 10^{10}$ Bequerels
2. الجرعة الممتصة من الإشعاع بالوحدات العملية SI units	Grey (Gy) (جراي)	1 Gy defined as: 1 Jou-le of absorbed energy per kilogram=1J/kg
3. التعريض للأشعة السينية والجامية	Roentgen (R)	Roentgen (R) defined as: The radiation intensity required to produce an ionization charge of 2.58×10^{-4} coulombs/kg (air).
	Rad (r)	1 rad is defined as: An absorbed dose of 1×10^{-2} Joule of energy/ kg (Tissue) =100 erg/ g
4. وحدة الجرعة المكافئة (DE)	Rem	The measure of the radiation dose in terms of its biological effectiveness in man. Rem: is the dose in rads multiplied by a (quality factor) 1 rem = 1rad x QF.
		QF=(σ)=20 1 rad =20 rems. QF(x.r) =1, so that: R, rad and rem are equivalent.



المراجع

1. Glasser, O(Ed) Medical physics Chicago 1960.
2. Attix. F.H (Ed), Topics in Radiation Dosimetry, Radiation Dosimetry supplement 1 Academic, New york 1972.
3. Barnes, P. and D. Rees, A concise Textbook of Radio therapy, Faber and Faber. London 1972
4. wagner, H.N (Ed). Nuclear Medicine, Hospital practice New york 1975.
5. Baum. S. and R. Bramlet. Basic Nuclear Medicine, Appleton- Century-crofts. New York (1975).
6. Christensen, E.E., T.s. curry and J. Nunnally, An Introduction to the physics of Diagnostic Radiology, Lea and Febiger, Philadelphia 1972.
7. Selman, J. the Fundamental of x- ray and Radium physics 1975.
8. pobts. A. M(Ed), the Assessment of visual Function, Mosby, st. Louis 1972.
9. Aazzard, Dew. G(Ed), symposium on Biological effects and Measurements of light sources, proceedings of aconferences held in Rockville, MD March 25-26 (1976).
10. Davis, H., and S.R. Silverman. Hearing and Deafness 3rd Hoh, Rinehart and Winston, New york 1970.
11. Goldberg. R.E and L.K. Sarin (Eds) ultrasonics in ophthalmology: Diagnostc and theapeutic Applicatons, Saunders, Philadelphia 1967.
12. Biologic effect and health hazards of microwave Radiations proceeding of an international symposium in warsava 15-18 october, 1973, Polish Medical, Warsava 1974.
13. Webster, I. G (Ed) Medical instrumentation: Application and Design. Houghton Mifflin Baltimore 1987.
14. Goodgold. J. and A Eberstein, Electrodiagnosis of Neuremuscular Diseases, Williams and wilkins, Baltimore 1972.

15. Tavel, M. E. clinical phonocardiography and external pulse Recording: 2nd ed year book Medical, Chicago 1972.
16. Campbell, E. J.M. E. Agostoni and J. N Davis. The Respiratory Muscles. Mechanics and Neural control, 2nd ed saunders, philadelphia 1970.
17. Brummelkamp, W. H. Hyperbaric oxygen therapy in clostridial infections, type welchii bohn. hearlem 1965.
18. Seagrave R.C Biomedical Applications of Heat and Mass transfer, Iowa state V.p., Ames Iowa 1971.
19. Raskin M.M and M. Viamonte, Jr. (Ed's) Clinical thermography, American college of Radiology, Chicago, 1977.
20. Iamadu, H. Strength of Biological materials, edited by I. H. Evans Williams, Baltimore 1970.

مختصر سيرة ذاتية



المؤلف: أستاذ دكتور / محمد محمد الزيدية

المؤهـل: دكتوراه في خواص المواد الصلبة

الوظيفة:

أستاذ المواد الصلبة. وعميد كلية العلوم - جامعة المنوفية (1992-1998) -
شبين الكوم - مصر العربية.

الوظائف:

- 1- نشر منه بحث في خواص المواد الصلبة في المجلات العلمية.
- 2- كتاب خواص المواد الصلبة.
- 3- كتاب الضوء والصوت.
- 4- كتاب الفيزياء الطبية.
- 5- ترجمة كتاب الفيزياء العامة والحرارة للمؤلف G. A. Grant.

التدرج العلمي:

عين معيدا بكلية العلوم جامعة عين شمس عام 1968، وتدرج حتى حصل
على أستاذ خواص المواد الصلبة عام 1986، بكلية العلوم جامعة المنوفية

الوظائف الإشرافية:

- 1- وكيل كلية العلوم جامعة المنوفية لشئون الطلاب 1987-1992م.
- 2- عميد كلية العلوم جامعة المنوفية 1992 - 1998م.

التقدير:

- 1- حاصل على جائزة أحسن بحث عام 1995.
- 2- حاصل على ميدالية الشبكة القومية للإشعاع عام 1994.
- 3- حاصل على شهادة تقدير من وزارة العمل في خدمة البيئة 1996.
- 4- حاصل على شهادة تقدير من جامعة المنوفية 1996.
- 5- حاصل على ميدالية التميز في خدمة التعليم العالي الخاص عامي 1994 - 1995.

المخترعات:

اختراع مادة فائقة التوصيل الكهربى مسجلة تحت مسمى منوفية (1)، منوفية (2).

الجمعيات العلمية:

- عضو الجمعية المصرية لعلوم المواد.
- عضو الجمعية العربية لعلوم المواد.
- عضو الجمعية العربية لتقنين العرب.
- عضو الاتحاد العربى لتقنين العرب والرياضيين العرب.
- عضو الجمعية المصرية لتقنين العرب.